ESPERIENZE DI LAVORO
A cura di:

Esplosioni da polveri nei processi di finitura di manufatti in alluminio e leghe nella realtà produttiva ASL 14 VCO: analisi del rischio e misure di prevenzione

Presentazione

La gestione delle emergenze o di eventi sanitari che, per le implicazioni sociali, rivestono particolare rilievo, deve vedere, per garantire l'efficacia delle azioni, l'intervento congiunto e sinergico di più istituzioni. In particolare la Regione, cui sono demandate funzioni di programmazione, coordinamento e controllo in materia di sanità, ha l'obbligo istituzionale, oltre che morale, di affiancare i Servizi che si trovino a dover operare in condizioni straordinarie. Ed il problema che ha dovuto fronteggiare il Servizio di Prevenzione e Sicurezza degli Ambienti di lavoro dell'ASL 14 rivestiva in pieno queste caratteristiche.

La struttura produttiva del VCO si connota infatti per una presenza diffusa sul territorio di piccole aziende che effettuano lavorazioni semplici, ma ad alto rischio perché le polveri di alluminio che si liberano durante le operazioni di pulitura dei metalli possono causare esplosioni. Sembra un'evenienza rara, ma l'esperienza dimostra che l'area del rischio è ampia mentre la propensione ad attuare misure preventive piuttosto limitata.

Occorreva pertanto supportare l'azione dello Spresal locale con l'intervento di colleghi particolarmente esperti di altre Aziende sanitarie che assicurassero l'attenzione dei programmi di vigilanza in tempi brevi. Lavorare assieme su un programma ben definito e con metodiche concordate è stata un'esperienza formativa molto importante per i servizi. Confrontare conoscenze, valutare i punti a rischio e proporre gli adeguati rimedi, rivedere le fonti normative esplorandone l'applicabilità, individuare i migliori strumenti per la vigilanza permanente, esaminare la letteratura scientifica più recente: sono questi gli aspetti principali che hanno caratterizzato l'esperienza che si è sviluppata nell'ASL 14, in collaborazione con medici e tecnici delle ASL 1 e 6, guidati dai dottori Gianni Buratti e Marina Farro.

I risultati, presentati nelle pagine che seguono, riassumono il lavoro fatto e chi avrà la bontà di leggere tutta la pubblicazione avrà chiaro il livello di un intervento che è costato impegno e fatica ma che si è anche dipanato sulle ali dell'interesse culturale e della responsabilità sociale.

Il merito va indubbiamente ascritto a chi ha lavorato ma anche alle istituzioni ed agli Enti che hanno garantito le risorse indispensabili a compiere una ricerca che sicuramente, superata la fase sperimentale, potrà diventare un proficuo e permanente modo di lavorare a tutto

vantaggio della tutela della salute degli addetti e dell’economia regionale.

Dott. Mario VALPREDA

Direttore Generale Sanità Pubblica, Regione Piemonte

Purtroppo si constata come il rischio di esplosioni di polveri, presente in una vasta tipologia di attività industriali, sia spesso gravemente sottovalutato. Ciò ha dato luogo ancora di recente ad incidenti gravi in stabilimenti ove sono effettuate lavorazioni comportanti aerodispersione di polveri metalliche, oppure di natura organica.

Il solo strumento efficace per evitare il ripetersi di tali eventi è quello di un'appropriata azione di prevenzione. Ritengo quindi molto positivo lo studio congiunto che ha portato alla stesura del presente documento, in quanto esso è il risultato di una fattiva collaborazione fra gli Organismi regionali cui è istituzionalmente demandato il compito della vigilanza e della prevenzione e i ricercatori afferenti al Centro Studi su Sicurezza, Affidabilità e Rischi (SAfeR) del Politecnico di Torino.

A questo riguardo segnalo l'attiva opera di studio e ricerca sia teorica, sia applicata sviluppata da tempo presso il nostro Politecnico, che negli ultimi tempi ha trovato considerevole impulso nell'ambito di collaborazioni sempre più efficaci in quanto "trasversali" tra i differenti rami dell'ingegneria.

Tale efficace aggregazione ha trovato d'altro canto valida estrinsecazione anche a livello formativo, tanto che oltre ai corsi specifici sulla sicurezza nei vari indirizzi di laurea, ci sono ormai da tempo un Master in Sicurezza Industriale e Analisi dei Rischi per neo-laureati, un Master per persone occupate, nonché un Dottorato di Ricerca di analoga denominazione, che hanno riscosso indubbio successo e riconoscimento anche da parte del mondo industriale.

Nelle attività di ricerca sono ovviamente inseriti anche diversi allievi del post-lauream, in particolare sulla prevenzione delle esplosioni di polveri di alluminio sta operando un Dottorando, la cui attività di studio è stata sostenuta finanziariamente proprio nell'ambito della collaborazione con l'Azienda Sanitaria Locale V.C.O..

Sulla base delle esperienze didattiche sopra citate recentemente è stato varato il nuovo Corso di laurea in Ingegneria della Sicurezza, che potrà essere per i futuri ingegneri una valida possibilità di inserimento nel mondo del lavoro.

E' ovvio che anche in tale ottica il collegamento con il mondo industriale e con le strutture pubbliche operanti nel campo della prevenzione non potrà che costituire un prezioso trait-d'union per l'interscambio e l'aggiornamento culturale -fatto oggi tanto più essenziale alla luce sia del costante progredire della tecnologia e delle conoscenze

tecniche ed epidemiologiche- sia per il miglioramento delle condizioni di vita e di lavoro.

Prof. Norberto PICCININI

Politecnico di Torino

L'elevato numero di eventi infortunistici gravi e mortali verificatisi in questi ultimi anni ha imposto all'ASL 14 VCO un cambiamento di rotta rispetto al passato. La prevenzione richiede interventi più incisivi e rispondenti al bisogno di sicurezza emergente.

Il potenziamento dell'organico S.Pre.S.A.L. e l'avvio di azioni preventive più efficaci con il supporto di organismi tecnici di ricerca hanno rappresentato la risposta che la Direzione Aziendale ha inteso dare per promuovere salute e sicurezza nei luoghi di lavoro nel V.C.O.

La realizzazione di questo opuscolo nato dal proficuo rapporto di collaborazione tra il Servizio di Prevenzione e Sicurezza Ambienti di Lavoro e il Centro FIRGET – CNR del Politecnico di Torino rappresenta un positivo segnale di cambiamento utile a favorire la crescita culturale di tutti gli attori della prevenzione. Si è ritenuto opportuno redigere questa pubblicazione per mettere a disposizione degli operatori del settore (datori di lavoro, R.S.P.P., R.L.S., consulenti, medici competenti, professionisti, lavoratori, OO.SS., associazioni di categoria) uno strumento di conoscenza che aiuti a riflettere ed a prevenire le gravi conseguenze di incidenti connessi al rischio di esplosione da polvere.

In un'area dove la lavorazione del casalingo rappresenta un settore trainante per l'intera economia del territorio, riteniamo questa iniziativa indispensabile per le prospettive di sviluppo futuro del nostro distretto industriale e nello stesso tempo utile per diminuire i rischi lavorativi e assicurare un ambiente di lavoro più sicuro.

Dott. Mario VANNINI

Direttore Generale A.S.L. N. 14 – V.C.O.

Questa monografia si inserisce in un vasto campo di indagini sulla valutazione, nocività, pericolosità e controllo di polveri inorganiche aerodisperse, di diversa origine e natura, che rappresenta una delle linee di ricerca tradizionale del FIRGET (Centro di Studio per la Fisica delle Rocce e le Geotecnologie), operante presso il Dipartimento Georisorse e Territorio del Politecnico di Torino.

Ho pertanto sin dal suo nascere considerato positiva l'iniziativa di studio nel settore delle polveri a rischio di esplosione, sia per gli aspetti scientifici di base che per la definizione di corrette strutture impiantistiche e gestionali finalizzate alla riduzione del rischio di esplosioni di polvere in ambienti industriali.

In tale ambito l'attività svolta in collaborazione con le strutture operanti sul territorio trova certamente prioritaria attenzione, segnatamente nei settori della prevenzione e della corretta gestione delle risorse, tanto umane quanto materiali.

Il risultato del lavoro, compendiato nel presente fascicolo, costituisce a mio avviso da un lato un certamente prezioso contributo alla soluzione di un problema di indubbia rilevanza - non soltanto locale- d'altro lato un esempio della efficace sinergia derivante dall'apporto culturale congiunto di competenze che sono patrimonio di strutture operanti sul territorio o reperibili presso gli organismi di ricerca istituzionali.

Mi è dunque occasione gradita presentare questo documento, auspicando ulteriori sviluppi della collaborazione con questa analisi avviata, i cui primi risultati appaiono indubbiamente validi.

Prof. Renato MANCINI

Direttore del Centro CNR - FIRGET

I gravissimi incidenti verificatisi a Gravellona Toce il 23 dicembre 1999 (decesso del lavoratore Giuliano VALDI e crollo dello stabilimento "Italcoffer") ed il 16 giugno 2000 (ferimento di numerosi operai e grave danneggiamento dello stabilimento "Nicomax") hanno improvvisamente riproposto, in forma drammatica ed urgente, il grave problema della lavorazione, in condizioni di sicurezza per i lavoratori del settore, dei prodotti e dei semilavorati contenenti polvere d'alluminio.

E' corretto parlare di riproposizione di una problematica affatto nuova, atteso che incidenti analoghi, per tipologia e rilevanza, si erano verificati, nella Provincia del Verbano-Cusio-Ossola, in un passato nemmeno tanto remoto (da ultimo, il decesso di Simona CARETTI, avvenuto il 4 febbraio 1994).

Per chi, come il magistrato del Pubblico Ministero, è istituzionalmente chiamato a dirigere e coordinare le attività investigative (in particolar modo, gli accertamenti tecnici collegiali) finalizzate all'individuazione dell'esatta dinamica e, quindi, delle cause di siffatti e complessi eventi, l'impegno è dei maggiori, dovendosi procedere, con estrema cautela, in un ambito che, già per sua natura complesso, è anche estremamente specialistico, afferendo ad una particolarissima attività imprenditoriale, dalla contenuta diffusione, oltretutto, nell'ambito del territorio nazionale (con tutte le conseguenze che ne derivano, sul piano della mancanza di utili riferimenti in vista dell'auspicabile scambio di informazioni con altri magistrati o esperti già occupatisi di analoghe investigazioni).

Gli stessi – laboriosi - accertamenti tecnici, peraltro, richiedono – del tutto comprensibilmente – tempi lunghi (ben oltre il termine semestrale, entro il quale, solitamente, si conclude l'indagine preliminare), comportando attentissimi calcoli e scrupolose analisi, nonchè, soprattutto, un vero e proprio impegno interdisciplinare, al quale il Pubblico Ministero chiama esperti di diversa specializzazione scientifico-tecnologica.

Un dato merita di essere adeguatamente sottolineato, sotto il profilo squisitamente tecnico-giuridico: i gravi episodi ai quali si è fatto riferimento non è corretto definirli e classificarli, puramente e semplicemente, alla stregua di infortuni sul lavoro; tale classica, riduttiva prospettiva, invero, deve essere definitivamente abbandonata, trattandosi, piuttosto, di autentici disastri che, oltre a causare più o meno gravi lesioni all'integrità fisica dei lavoratori (se non anche di soggetti assolutamente estranei all'impresa), determinano, addirittura, per effetto di una notevole energia distruttrice, sprigionantesi da pericolosi inneschi,

il crollo totale o parziale (artt. 434 e 449 del codice penale) degli stabilimenti ospitanti tali insidiose attività d'impresa.

Seppure colposi, dunque, tali reati devono essere ricondotti nell'ambito dei delitti contro l'incolumità pubblica, ovvero in quella categoria giuridica che comprende fatti idonei a ledere l'integrità fisica di un rilevante e, nel contempo, indefinito numero di persone.

Sul piano strettamente personale, prima ancora che su quello professionale, ringrazio tutti i validi e scrupolosi professionisti che hanno messo a disposizione della Procura della Repubblica di Verbania (e di tutti coloro che mostrano vivo interesse per l'individuazione delle cause di così gravi incidenti) la perizia, l'esperienza e, non da ultimo, l'evidente passione di chi non cessa d'interrogarsi su complessi ed impegnativi fenomeni legati alla pericolosità di determinati materiali, pur quotidianamente impiegati nelle attività produttive.

Comprendo, peraltro, la difficoltà del loro impegno, essendosi dovuti cimentare in un ambito di ricerca poco approfondito e, probabilmente, sottovalutato nel nostro Paese.

Certamente preziosa, quindi, anche la collaborazione sviluppatasi fra tali professionisti ed i responsabili della locale Azienda Sanitaria Locale, finalizzata all'elaborazione di un documento (vera e propria guida per gli utenti) contenente parametri e standard di sicurezza per chiunque operi nel settore della lavorazione dei prodotti o dei semilavorati in alluminio.

Nella qualità di magistrato del Pubblico Ministero, poi, apprezzo particolarmente il rigoroso approccio e la metodica prescelti dal succitato gruppo di lavoro, essendosi dato il giusto peso alla prospettiva da tempo indicata dal legislatore, in tema di tutela della sicurezza negli ambienti lavorativi: la preliminare, corretta valutazione dei rischi per la sicurezza e per la salute dei lavoratori, nella scelta delle attrezzature di lavoro, delle sostanze impiegate e della sistemazione dei luoghi di lavoro.

Ritengo, comunque, che il documento in questione non debba considerarsi rivolto esclusivamente agli imprenditori (grandi o piccoli che siano, nonché ai dirigenti ed ai preposti che dirigono, ovvero sovraintendono all'attività d'impresa), essendo importante che i suoi contenuti siano conosciuti anche da coloro i quali sono chiamati quotidianamente, a vario titolo, a cooperare con i datori di lavoro sul fronte comune della sicurezza: addetti al servizio di prevenzione e protezione (in primis, il responsabile di tale servizio, persona che, per espressa disposizione legislativa, deve essere in possesso di attitudini e

capacità adeguate), rappresentante dei lavoratori per la sicurezza (soggetto che, fra l'altro, deve essere consultato preventivamente e tempestivamente in ordine alla valutazione dei rischi, alla individuazione, programmazione, realizzazione e verifica della prevenzione nell'azienda) e lavoratori (soggetti protetti, ma destinatari, essi stessi, di precisi obblighi sanzionati sul piano penale, primo fra tutti quello di prendersi cura della propria sicurezza e della propria salute e di quella delle altre persone presenti sul luogo di lavoro, sulle quali possono riverberarsi le conseguenze delle loro azioni o omissioni, e, più in generale, di contribuire, insieme al datore di lavoro, all'adempimento di tutti gli obblighi imposti dall'autorità competente o, comunque, necessari per tutelare la sicurezza e la salute dei lavoratori).

Dott. Nicola MEZZINA

Sostituto Procuratore della Repubblica in Verbania

INDICE

1 Unità di misura 1

2 La realtà industriale locale: aziende di pulitura alluminio nel VCO 2

3 Generalità sui fenomeni di combustione, incendio ed esplosione 6

3.1 Velocità laminare di combustione e velocità del fronte di fiamma 8

3.2 Fenomeni di detonazione e di deflagrazione 8

3.2.1 Esplosioni primarie e secondarie 9

3.3 Deflagrazione di polveri in aria 10

3.4 I limiti di esplodibilità 16

3.5 L'influenza della granulometria 18

3.6 L'influenza della quantità di comburente 19

3.7 Energia minima di innesco 20

3.8 Temperatura di autoaccensione 22

3.8.1 Turbolenza 23

3.9 Infiammabilità e sorgenti di innesco 27

3.10 Polveri brucianti senza fiamma 28

4 Esplosioni di polveri di alluminio 29

4.1 Proprietà chimico - fisiche dell'alluminio 29

4.2 Il decorso delle esplosioni di polvere di alluminio 32

4.2.1 Il tenore di comburente 32

4.2.2 Dimensioni delle particelle 34

4.2.3 Umidità 35

4.3 Analisi storica di incidenti occorsi 37

4.3.1 In aziende del VCO 37
4.3.2 In altre aziende (dati da letteratura) 43

5 Valutazione e gestione dei rischi per i lavoratori sui luoghi di lavoro..51

5.1 Generalità 51

5.2 Analisi di struttura e ubicazione delle aziende 59

5.3 Analisi dei rischi specifici per la lavorazione dell'alluminio 62
5.3.1 Lavorazioni 68
5.3.2 Attrezzature (macchine) e impianti per la produzione 70
5.3.3 Natura delle polveri generate 71
5.3.3.1 Campionamento 71
5.3.3.2 Analisi ottica 72
5.3.3.3 Prove di esplodibilità..74
5.3.4 Impiantistica per la gestione della sicurezza 75
5.3.4.1 Alimentazione elettrica 75
5.3.4.2 Captazione delle polveri generate dalle lavorazioni76
5.3.5 Servizi (magazzini, depositi, ecc.) 80
5.3.6 Personale (attrezzature, formazione e informazione)..80

6 Principi di conservazione della sicurezza nel tempo 81

6.1 Uno strumento moderno: standard OHSAS 18001/99........85

7 Riferimenti normativi 89

7.1 Checklist predisposta a cura del CNR-FIRGET nell'ambito dell'incarico conferito dalla ASL 14 VCO.................................90

7.2 Criteri di verifica..91

8 Conclusioni...93

9 Bibliografia 95

1 Unità di misura

Nel testo vengono proposte generalmente grandezze coerenti col sistema S.I. Dato peraltro che in alcuni grafici o tabelle direttamente riprodotti da varie fonti bibliografiche compaiono unità di misura differenti, che si è ritenuto preferibile lasciare nella forma originaria per renderne possibile una valutazione "senza intermediari", di seguito, almeno per le grandezze che compaiono più di frequente, è fornita una "chiave di lettura".

Tabella 1: Unità di misura delle grandezze utilizzate

Grandezza	*Unità di misura S.I.*	*Conversioni*
lunghezza	metro [m]	1 m = 100 cm = 10^6 μm
massa	chilogrammo [kg]	1 kg = 100 g = 10^6 μg
tempo	secondo [s]	1s = 1,667 $\cdot 10^{-2}$ min = 2,778 $\cdot 10^{-4}$h
temperatura	Kelvin [K]	1 K = -272,15 °C = -457,87 F
pressione	Pascal [Pa]	1 Pa = 10^{-5} bar ≈ 9,87 · 10^{-6} atm
energia	Joule [J]	1 J = 0,2388· 10^{-3} kcal ≈ 0,948 10^{-3} BTU
massa volumica	[kg/m^3]	Sovente si parla ancora di densità assoluta [kg/m^3] o relativa all'acqua [%]
viscosità dinamica	[N·s/m^2]	1 N·s/m^2 = 1 J·s/m^3= 1 Pa/s
calore specifico	[J/kg·K]	1 J/kg·K = 10^{-3} J/g·°C = 0,2389 kcal/g·°C
conducibilità termica	[J/s·m·K]	1 J/s·m·K = 1 W/ s·m·K = = 0,86·10^9 kcal/h·m·°C
Conduttività termica	[W/m·K]	1 W/·m·K = 1 J/s·m·K

2 La realtà industriale locale: aziende di pulitura alluminio nel VCO

Il rischio di esplosione di polveri è un problema presente in un grande numero di attività lavorative e coinvolge una ingente varietà di materiali e prodotti. Esso infatti può essere riscontrato in modo significativo nell'ambito di molte tipologie industriali.

Il presente studio è volto ad esaminare in modo approfondito il problema, per consentire l'adozione di misure di prevenzione e protezione sempre più efficaci a tutela dei lavoratori e dell'ambiente circostante.

In un'ampia zona del nord Italia è dislocato un grande numero di piccole e medie industrie, che svolgono generalmente attività di finitura nel settore metalmeccanico. Nella maggior parte dei casi queste unità produttive hanno un unico cliente, in genere una grossa azienda manifatturiera, nei confronti del quale ricoprono il ruolo di terzisti. La dimensione tipica di queste piccole e medie imprese è assai ridotta e si tratta, per lo più, di stabilimenti che non dispongono di figure tecniche e/o di uno staff interno dotato di conoscenze adeguate per elaborare un documento di sicurezza aziendale e supportare nella gestione del rischio il piccolo imprenditore.

Una realtà di questo tipo è particolarmente frequente nel Nord-Est del Piemonte, in particolare in ampie zone della provincia del Verbano Cusio Ossola, dove è molto diffusa l'attività di finitura di manufatti in alluminio e sue leghe.

Il territorio del Cusio si caratterizza per la concentrazione di alcune tipologie produttive del settore metalmeccanico collegate alla lavorazione di articoli casalinghi. Aziende di rilevanza nazionale e specializzate nella produzione dei prodotti citati costituiscono la committenza principale per una serie di piccole unità produttive presenti nel territorio del VCO da alcuni decenni.

Tali aziende sono principalmente localizzate in distretti industriali ad alta concentrazione di stabilimenti di diversa natura. In tali aree si riscontra, inoltre, la presenza o la vicinanza di edifici destinati a civile abitazione, a causa di pregresse politiche urbanistiche non organicamente coordinate.

L'area del Verbano Cusio Ossola conta, tra l'altro, un numero significativo di aziende che operano su manufatti di alluminio di piccola o media taglia, quali pentolame, caffettiere, pannelli portastrumenti, ecc.. Esse ricevono normalmente il manufatto grezzo di fusione dal produttore, ed effettuano la finitura superficiale attraverso operazioni meccaniche di lucidatura e smerigliatura.

Fig. 1 Esempi di alcuni manufatti in alluminio e leghe tipicamente lavorati nelle aziende del VCO; in alto a sinistra: pedivelle per biciclette; in alto a destra: teglia; in basso a sinistra: pentola; in basso a destra: caffettiera

Nella maggior parte dei casi per tali operazioni si utilizzano macchine per lucidatura e smerigliatura completamente automatizzate, che permettono di effettuare lo stadio prefinale e finale della produzione del manufatto, in modo da eliminare i residui di fusione. Le macchine smerigliatrici sono generalmente dotate di abrasivi a nastro per la sgrossatura e di mole lamellari per la finitura. Raramente sono utilizzate mole non meccanizzate, che comportano la gestione completamente manuale della lavorazione.

Fig. 2 Interno di uno stabilimento

Da queste lavorazioni si originano polveri di alluminio di granulometria varia, soprattutto in funzione dell'abrasivo utilizzato, costituite prevalentemente da trucioli a forma di "coda di porcellino", con dimensioni che vanno dai 100 μm (ordine di grandezza) per la dimensione maggiore, ma con le altre due di un ordine di grandezza inferiore al precedente, fino a particelle dell'ordine del μm. La granulometria risultante rende la polvere molto reattiva all'aria e il pericolo di esplosione che ne deriva è significativo.

Nel panorama locale, nel quadro della finitura di manufatti di alluminio, la tipologia produttiva più diffusa e interessante, soprattutto per l'elevato numero di pezzi trattati, è costituita dalle caffettiere, la cui produzione ammonta nell'area in esame a circa 60.000 pezzi al giorno. È possibile stimare nel complesso una produzione di polvere di alluminio derivante dalla pulitura delle sole caffettiere dell'ordine di circa 540 kg/giorno.

Le polveri risultanti sono captate al punto di emissione, per mezzo di impianti d'aspirazione che convogliano il particolato ad un sistema di abbattimento collettivo. Nella maggior parte dei laboratori, sono installati impianti di abbattimento polveri a secco, secondo lo schema ciclone – filtro a maniche, ma si rileva anche la presenza di alcuni impianti ad umido, che operano per lavaggio ad acqua.

Nell'ultimo quinquennio l'area è stata colpita da svariati incidenti, tra i quali si annoverano tre esplosioni degli impianti di aspirazione ed abbattimento polveri, che hanno causato due morti e sedici feriti, oltre a incendi e altri danni ingenti, non solo in termini economici.

3 Generalità sui fenomeni di combustione, incendio ed esplosione

La combustione in aria è definibile come una reazione di ossidazione esotermica (autosostenentesi) di una sostanza ossidabile che si combina con l'ossigeno dell'aria stessa.

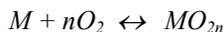
Le reazioni di combustione si possono svolgere soltanto in presenza di condizioni ben definite:

- *presenza di un combustibile (in forma solida, liquida o gassosa);*
- *presenza di un comburente (di solito l'ossigeno dell'aria);*
- *sorgente di energia (innesco) per far partire la reazione.*

Quando il fenomeno di combustione tende ad evolvere in modo incontrollato si parla genericamente di incendio od esplosione.

In effetti un incendio e un'esplosione sono, nel parlar comune, considerati due eventi completamente differenti, né potrebbe essere altrimenti, considerati il decorso e gli effetti che ne derivano. In realtà, sotto l'aspetto chimico o fisico essi sono fenomeni sostanzialmente identici: la marcata differenza di cui sopra è motivata dalla velocità di espansione dei prodotti della combustione, e dall'interferenza esercitata dall'ambiente in cui la reazione ha luogo.

Per chiarire quanto detto occorre considerare che, in generale, l'ossidazione di un metallo (M) può essere rappresentata dalla reazione:

$$M + nO_2 \leftrightarrow MO_{2n}$$

l'energia libera di formazione (ΔG) può essere espressa come:

$$\Delta G = - RT \ln K_1$$

dove:

R è la costante dei gas
T la temperatura
K_1 è la costante di equilibrio definita come $K_1 = (P_{O2})^{-n}$

A titolo d'esempio, si consideri la reazione di combustione del metano:

$$CH_4 + 2\ O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O\ \ -213.000\ kcal/kmole$$

Come indicato essa avviene con notevole sviluppo di calore e, quindi, dà luogo a prodotti di combustione (CO_2, H_2O, N_2) a temperatura elevata.

Se la reazione ha luogo con progressivo e controllato apporto di metano, per esempio su di un bruciatore, i prodotti caldi possono liberamente espandersi nell'ambiente. Se però la reazione avviene in un ambiente confinato riempito di miscela aria – metano, la combustione si sviluppa molto rapidamente, e l'aumento di temperatura dei prodotti si traduce in un aumento di pressione, con le conseguenze tipiche di una esplosione.

Si possono quindi introdurre le seguenti definizioni:

Combustione: reazione chimica di una sostanza ossidabile con l'ossigeno, con svolgimento di calore, solitamente accompagnata da una fiamma visibile.

Incendio: combustione indesiderata di una sostanza infiammabile, caratterizzata da decorso e conseguenze difficilmente od affatto controllabili. La gestione di una situazione di incendio presenta difficoltà crescenti in funzione di vari parametri, fra cui il contesto, la tipologia e la quantità di sostanza coinvolta, la natura dei prodotti di combustione, l'evoluzione delle temperature, ecc.. Ciò rende fondamentali la prevenzione e la prontezza di rilevamento e intervento.

Esplosione*:* combustione di una miscela di un materiale infiammabile in aria caratterizzata da decorso pressoché immediato, con conseguente rapida espansione del volume dei prodotti o aumento della pressione, a seconda che l'azione avvenga in uno spazio libero o confinato.

3.1 Velocità laminare di combustione e velocità del fronte di fiamma

Il ***fronte di fiamma*** è quella porzione (strato) di miscela nella quale avvengono le reazioni di combustione.

La velocità con la quale il fronte di fiamma si propaga attraverso la miscela gassosa, misurata rispetto ad un osservatore fisso, è detta ***velocità del fronte di fiamma***.

Essa è legata alla ***velocità laminare di combustione***, velocità del fronte di fiamma relativa alla miscela incombusta immediatamente adiacente, in condizioni di regime laminare (v. più avanti).

La velocità laminare di combustione dipende dalla natura del combustibile, dalla sua concentrazione, dalla temperatura e dalla pressione.

In pratica la velocità del fronte di fiamma non sempre coincide con la velocità di combustione, in quanto, nel corso della reazione, il fronte di fiamma avanza anche in seguito all'espansione dei gas combusti; inoltre la fluidodinamica del fronte di fiamma può essere di natura turbolenta e ciò comporta una propagazione di elevatissima velocità.

3.2 Fenomeni di detonazione e di deflagrazione

Col termine esplosione s'identificano due fenomeni: le deflagrazioni e le detonazioni.

Essi possono essere definiti come segue:

Detonazione: esplosione originata da un fronte di fiamma supersonico. In tal caso, si creano onde di compressione che si propagano nella miscela combustibile come un'onda d'urto che precede il fronte della reazione. E' tipica delle sostanze esplosive dette appunto detonanti.

Deflagrazione:esplosione caratterizzata da un fronte di fiamma subsonico. Le esplosioni di gas o polveri aerodisperse presentano normalmente evoluzione di questo tipo, anche se in particolari condizioni, per esempio nel caso di esplosioni in lunghi condotti o gallerie, il fenomeno pare possa tramutarsi in una detonazione.

3.2.1 Esplosioni primarie e secondarie

Caratteristica peculiare delle polveri è quella di poter dare luogo, sotto condizioni peraltro assai comuni, a due fenomeni distinti: l'***esplosione primaria*** e ***l'esplosione secondaria.*** I due fenomeni sono definiti nel seguito.

Esplosione primaria: esplosione che coinvolge la porzione di polvere aerodispersa e provoca, a seguito di turbolenza, espansione e moti convettivi che portano non solo a danni strutturali diretti, ma anche al sollevamento delle polveri eventualmente depositate nei condotti o negli ambienti coinvolti.

Esplosione secondaria: esplosione in cui le polveri risollevate dall'esplosione primaria partecipano a loro volta alla reazione esplosiva, amplificando anche sostanzialmente gli effetti distruttivi dell'esplosione primaria.

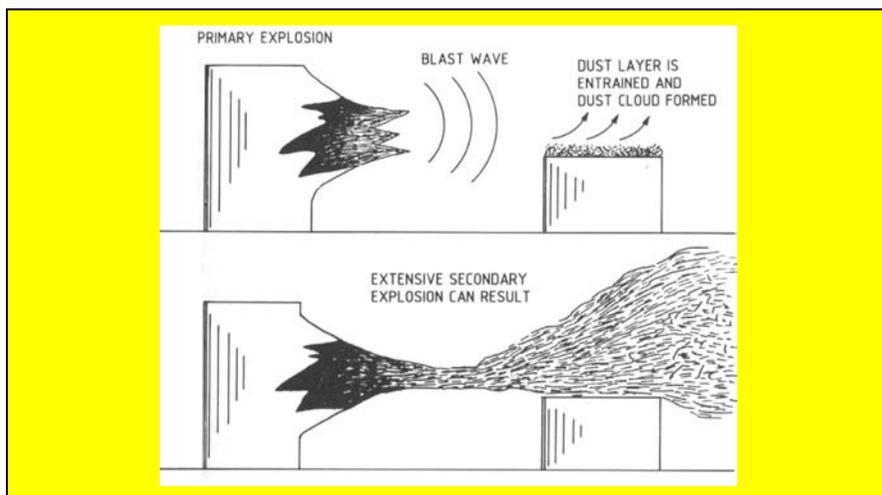



Fig. 3 esplosione primaria (sopra) e secondaria (sotto).
(da Rolf K Eckhoff - Dust explosions in the process industries, Butterworld Heinemann, 1997)

Primary explosion = esplosione primaria;
Blast wave = onda di esplosione;
Dust layer is entrained and dust cloud formed = lo strato di polvere depositata è risollevato, e si forma una nube di polvere aerodispersa;
Extensive secondary explosion can result = esplosione secondaria che ne può derivare.

3.3 Deflagrazione di polveri in aria

Al fine di stabilire la potenziale pericolosità di una miscela esplosiva di polvere in aria, si eseguono prove di esplosione in ambiente chiuso, utilizzando procedure ed apparecchiature standardizzate (vedi figure seguenti).

In particolare:

- *la Figura 4 rappresenta l’apparecchio di Siwek, strumento normalizzato nelle norme ASTM – American Standard Testing Methods, costituito da una sfera del volume di 20 dm^3;*

- *la Figura 5 rappresenta una sezione dell’apparecchio normalizzato secondo le norme EN, costituito da un cilindro di 1 m^3 di volume.*

Fig. 4 Apparato di Siwek, previsto dalla norma ASTM E 1226-00

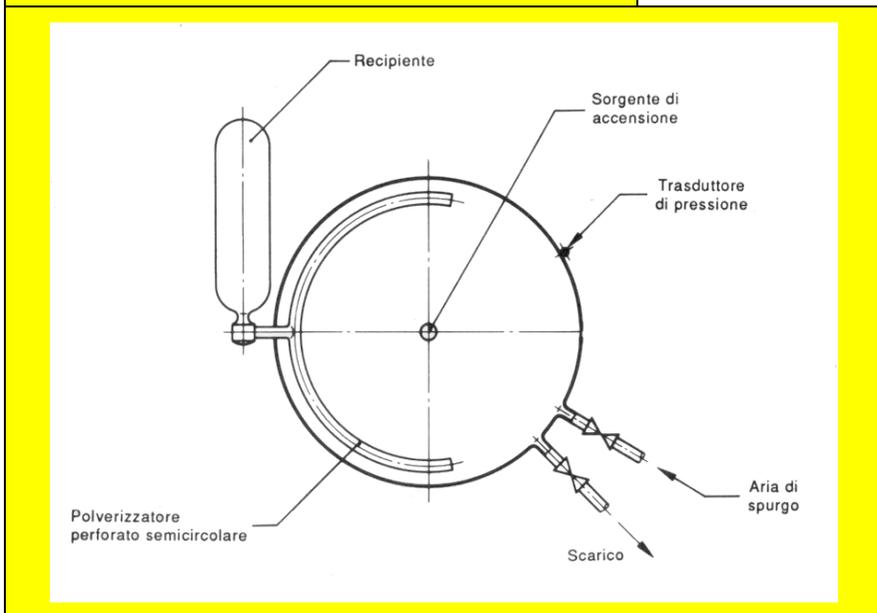
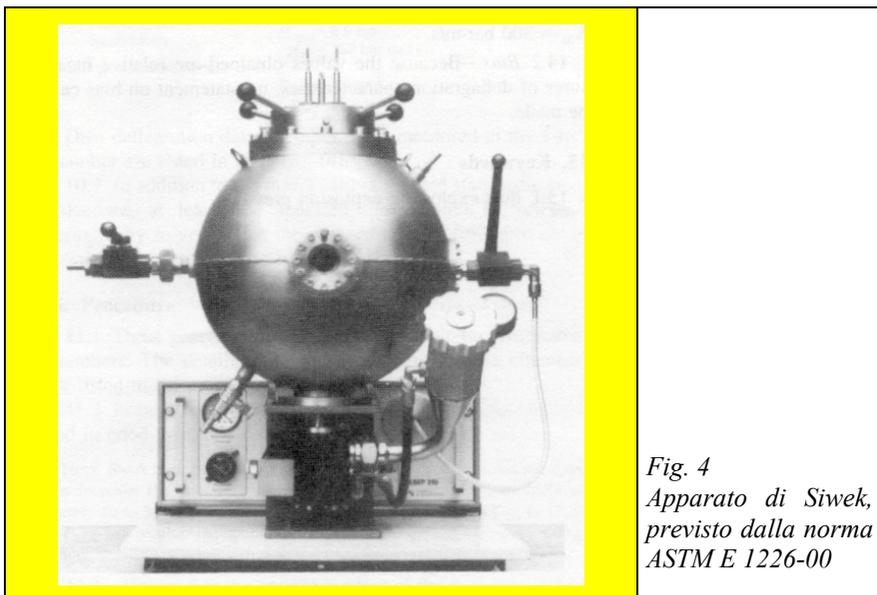



Fig. 5 Apparato previsto dalla norma UNI-EN 26184

Per mezzo di queste apparecchiature è possibile seguire il decorso dell'esplosione attraverso la misura dell'evoluzione della pressione nel tempo.

I risultati sono rappresentati nella Figura 6. Come si può osservare, in generale l'aumento di pressione è repentino, e porta al raggiungimento del valore massimo nel volgere di circa un decimo di secondo.

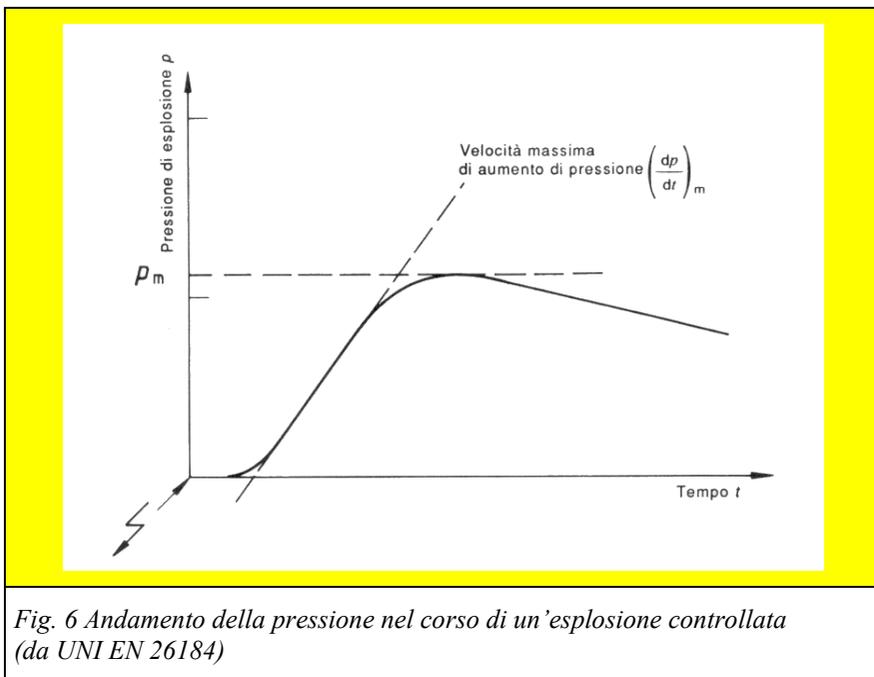



Fig. 6 Andamento della pressione nel corso di un'esplosione controllata (da UNI EN 26184)

Secondo la norma UNI EN 26184, durante le prove sono determinati due indici d'esplosione:

- ***Indice di esplosione p_m,*** pari alla massima pressione raggiunta nel corso dell'esplosione (p_m)
- ***Indice di esplosione k_m,*** pari alla massima velocità di aumento della pressione $(dp/dt)_m$ riferito ad un recipiente di prova con volume di 1 m^3.

Gli indici dipendono da numerosi fattori, ma soprattutto dalle concentrazioni di polvere e ossigeno. Il loro andamento rispetto a questa variabile è mostrato in Figura 7 e Figura 8.

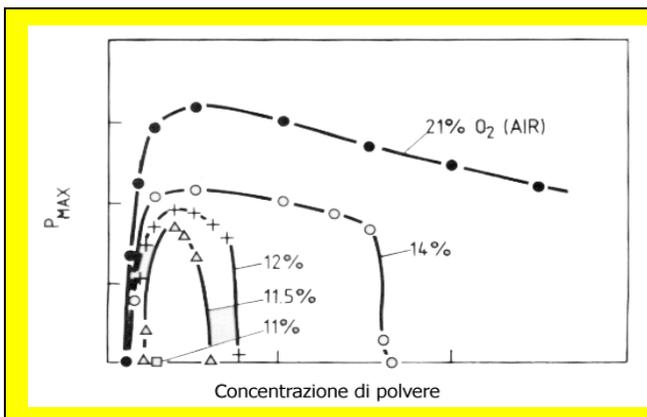



Fig. 7 Andamento dell'indice p_m in funzione delle concentrazioni di polvere e ossigeno

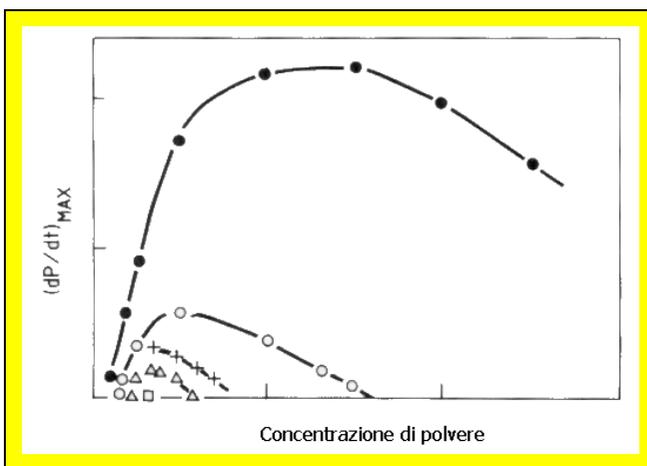



Fig. 8 Andamento dell'indice k_m in funzione delle concentrazioni di polvere e ossigeno

In particolare la pressione massima p_m dipende dalla quantità totale d'energia sviluppata durante la combustione. Essa è correlata alla temperatura finale raggiunta dai gas ed all'aumento del numero di moli, attraverso il *fattore d'espansione E,* definito come:

$$E = \frac{P\ finale}{P\ iniziale} = \frac{T\ finale}{T\ iniziale} \cdot \frac{N\ finale}{N\ iniziale}$$

dove P = pressione
T = temperatura
N = numero di moli

Il fattore di espansione è funzione della concentrazione di combustibile (polvere) presente nella miscela; la pressione massima si

ottiene pertanto solitamente per una concentrazione leggermente superiore a quella stechiometrica ([1]).

L'indice di esplosione k dipende anche dal volume del recipiente di prova, per questo il valore sperimentale è sempre normalizzato rispetto al volume di 1 m^3 con la seguente formula:

$$k = \left(\frac{dp}{dt}\right)_m V^{1/3}$$

dove

k = indice d'esplosione

$\left(\frac{dp}{dt}\right)_m$ = valore sperimentale dell'indice k

V = volume del recipiente di prova [m^3]

Al fine di superare l'influenza della concentrazione della polvere, la normativa europea (UNI EN 26184 parte 1) prevede che la sospensione sia caratterizzata attraverso altri due indici di esplosione:

- ***Indice di esplosione p_{max}***: massimo valore di p_m in funzione della concentrazione di polvere;
- ***Indice di esplosione k_{max}*:** massimo valore di k_m in funzione della concentrazione di polvere;

Talora la polvere è caratterizzata anche attraverso un parametro detto *indice di esplosività IE*, che caratterizza la pericolosità del campione di sostanza (nel caso polvere) in esame nei confronti di un materiale preso come riferimento:

$$IE = IS \cdot ES$$

dove

IS = sensibilità all'innesco

ES = violenza dell'esplosione

Ad esempio l'autorevole Bureau of Mines degli Stati Uniti ha scelto, come riferimento, la polvere di carbone di Pittsburgh (Pennsylvania) in merito alla quale disponeva di una grande quantità di informazioni raccolte sia mediante prove di laboratorio sia mediante sperimentazioni condotte in scala reale (in una miniera sperimentale):

In questo caso la sensibilità all'innesco IS e la violenza dell'esplosione ES sono rispettivamente esprimibili come segue:

---

[1] quantità stechiometrica di combustibile = massima quantità di combustibile che può reagire completamente con una data quantità di comburente.

$$IS = \frac{(\text{Tmin.d'ingnizione} \cdot \text{en. min.d'innesco} \cdot \text{conc. min. esplodibile})_{\text{carbone di Pittsburgh}}}{(\text{Tmin. d'ingnizione} \cdot \text{en. min.d'innesco} \cdot \text{conc. min. esplodibile})_{\text{campione in esame}}}$$

$$ES = \frac{\left(\max P \cdot \max \frac{dP}{dt}\right)_{\text{campione in esame}}}{\left(\max P \cdot \max \frac{dP}{dt}\right)_{\text{carbone Pittsburgh}}}$$

Per il calcolo della pressione massima che si origina durante l'esplosione e della velocità massima di aumento della pressione che compaiono nell'espressione di ES, è stata utilizzata una concentrazione di polvere pari a 500 g/m^3 sia per il campione in esame, sia per il carbone di Pittsburgh.

L'indice di esplosione è il parametro in base al quale si individua il pericolo di esplosione, secondo quanto compendiato in tabella:

Tabella 2:indici di esplosione

Pericolo relativo	***IE***
nessuno	0
debole	< 0,1
moderato	0,1 ÷ 1,0
forte	1,0 ÷ 10,0
fortissimo	> 10

Valori di IE superiori all'unità indicano un pericolo maggiore che per la polvere di carbone presa come riferimento.

3.4 I limiti di esplodibilità

Affinché una miscela di polvere e aria sia combustibile, e dunque possa esplodere, occorre che la concentrazione del combustibile sia compresa tra un minimo e un massimo.

Ogni combustibile è caratterizzato da un "***limite inferiore di esplodibilità***" L_i, che indica la concentrazione minima (in g/m^3) di combustibile alla quale una sospensione esplode. Al di sotto del limite inferiore le particelle della polvere sono troppo lontane fra loro, per cui il calore liberato dall'ossidazione delle singole particelle non è sufficiente ad accendere quelle adiacenti e la reazione non può propagarsi.

Ogni combustibile è caratterizzato anche dal "***limite superiore di esplodibilità***" L_s ([2]): miscele in cui la concentrazione del combustibile è al di sopra del limite superiore non possono reagire perché, in questo caso, il comburente (l'ossigeno) scarseggia e non permette uno sviluppo di energia sufficiente a propagare la reazione.

Nel caso delle sospensioni di polveri, Ls non è determinato e considerato ai fini della sicurezza, soprattutto a causa della difficoltà sperimentale nella sua determinazione.

Il valore delle concentrazioni minima e massima esplodibile dipendono da molteplici variabili tra cui, ad esempio:

- le *condizioni dello strato superficiale della particella*: la passivazione ([3]) diminuisce la reattività per cui, per particelle esposte all'aria, la concentrazione minima esplodibile tende ad aumentare;
- le *dimensioni delle particelle*: tanto più sono grandi, tanto più elevata è la concentrazione minima esplodibile.

---

[2] sono peraltro frequentemente utilizzate anche le notazioni anglosassoni LEL (lower explosion limit) e UEL (Upper explosion limit).

[3] modificazione superficiale della particella che ne riduce la reattività (può essere ottenuta artificialmente, o derivare ad esempio da fenomeni di ossidazione naturale lenta).

!!! mentre i gas sono facilmente miscibili in modo omogenea in un ambiente turbolento, per cui i valori dei limiti di esplodibilità costituiscono effettivamente un riferimento valido, nel caso delle polveri è pressoché impossibile ottenere un sistema omogeneo polvere-aria con composizione uniforme in quanto, in genere, intervengono fenomeni di segregazione (si pensi ad esempio ai gomiti dei condotti di aspirazione, in cui il flusso di aria polverosa subisce un brusco cambiamento di direzione: in tali condizioni si possono verificare fenomeni di separazione inerziale delle particelle dal flusso di aria, oppure a tratti di condotto caratterizzati da scarsa velocità di aspirazione e conseguente deposizione gravimetrica). !!!

- La ***temperatura*** ha un duplice effetto: la sua crescita aumenta la reattività del solido, in quanto diminuisce la differenza tra la temperatura iniziale e quella di autoaccensione; e aumenta la reattività del gas perché preriscalda il comburente. L’effetto netto di un aumento di temperatura è quello di allargare l’intervallo d’esplodibilità.
- La ***pressione*** agisce sulla fase gassosa alterando la concentrazione della polvere per unità di volume di gas, con conseguente modifica dei valori di L_i ed L_s. L’effetto è una modificazione del campo di esplodibilità.
- La ***presenza di gas inerti*** (N_2, CO_2, ecc.) abbassa notevolmente il limite superiore di esplodibilità del combustibile, senza far variare sensibilmente quello inferiore. In tal modo, il campo di esplodibilità si restringe sempre più; esiste una concentrazione massima d’inerte (o minima d’ossigeno), al di sopra della quale la miscela non è in grado di reagire quale che sia la concentrazione di polvere.
- La ***presenza di polveri inerti***: col termine polvere inerte s’intende la polvere di un materiale non in grado di dar luogo a reazioni di combustione. Miscelando della polvere inerte (silice, calcare, cloruro di calcio) a polveri infiammabili, aumenta sensibilmente il valore di L_i e si riducono sia la P_{max} sia $(dP/dt)_{max}$. Qualora il quantitativo d’inerte fosse sufficiente, l’esplosione risulterebbe impossibile.

3.5 L'influenza della granulometria

Col termine granulometria s'intende una misura delle dimensioni delle particelle. Siccome esse hanno generalmente dimensioni diverse tra loro, si utilizza la curva granulometrica (Figura 9), per descrivere la distribuzione delle dimensioni delle particelle di polvere.

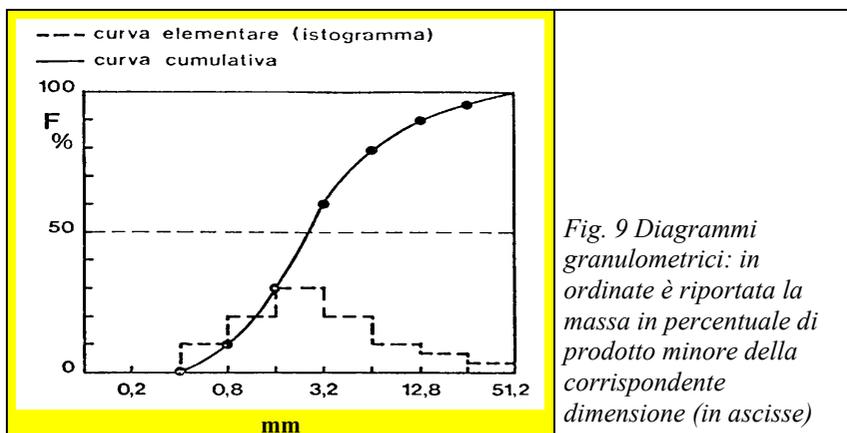



Fig. 9 Diagrammi granulometrici: in ordinate è riportata la massa in percentuale di prodotto minore della corrispondente dimensione (in ascisse)

Le reazioni chimiche che avvengono durante i processi esplosivi delle polveri interessano l'interfaccia solido/gas. Di conseguenza, l'area superficiale disponibile per l'ossidazione e il trasferimento di calore ha un effetto significativo sull'inizio e sulla propagazione dell'esplosione. Forma e dimensione delle particelle influenzano pesantemente il processo esplosivo perché si modifica profondamente il rapporto superficie/volume, anche a parità di massa delle particelle.

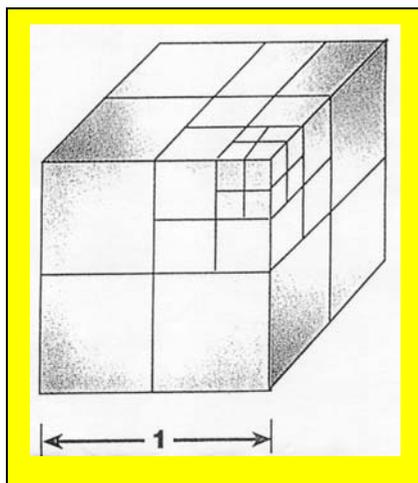



Fig. 10
Modificazione del rapporto superficie/volume al variare della dimensione delle particelle. Da un cubo di lato 1, se ne possono generare 8 da 0,5; 64 da 0,25; 512 da 0,125 ecc.

La pressione massima di esplosione e la velocità massima di aumento della pressione crescono al diminuire della granulometria, mentre diminuiscono l'energia minima di accensione e, in una certa misura, la concentrazione minima esplodibile (limite inferiore). Inoltre, al diminuire della granulometria, la polvere diventa sempre più facilmente disperdibile e rimane più a lungo in sospensione.

3.6 L'influenza della quantità di comburente

L'aumento del tenore di ossigeno nell'atmosfera comburente esalta la combustibilità della polvere che si accende più facilmente, brucia più rapidamente e produce effetti più violenti di quanto si verifichi in sola aria: aumentano pertanto gli indici p_{max} e k_{max}.

Al contrario, la riduzione del tenore di ossigeno per aggiunta di gas inerti, quali azoto o anidride carbonica, restringe il campo di infiammabilità, rallenta il decorso della reazione ed aumenta l'energia minima di innesco.

3.7 Energia minima di innesco

Una miscela combustibile è innescata se un volume critico di miscela è riscaldato sufficientemente per iniziare la reazione a catena di combustione che provoca la propagazione della fiamma.

Perché questo si verifichi, la sorgente di innesco deve liberare una data quantità di energia, indicata come ***energia minima d'innesco*** (MIE).

La MIE per una sospensione di polvere in aria è funzione di numerosissime variabili, ma in particolare dipende dalla concentrazione di polvere: essa è minima in prossimità della concentrazione stechiometrica; inoltre l'energia di accensione aumenta drasticamente in prossimità delle concentrazioni corrispondenti ai limiti di esplodibilità (Figura 11).

Anche la concentrazione di comburente ha un notevole effetto sulla MIE: in generale, la riduzione del tenore d'ossigeno dal 21% al 10% in volume aumenta l'energia minima di innesco di un fattore circa pari a 2.

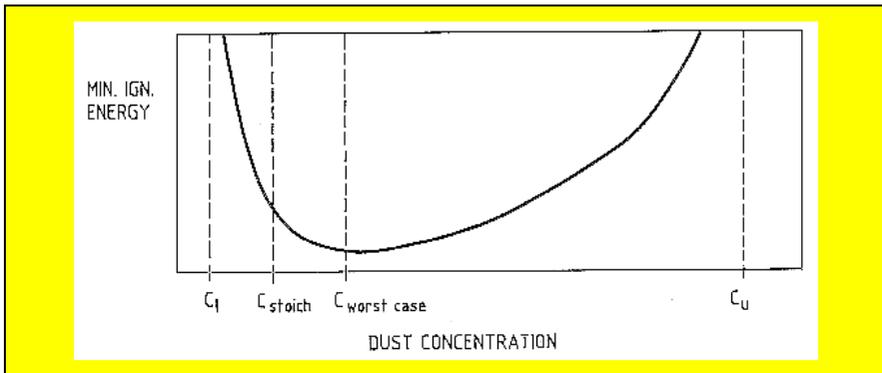



Fig. 11 Tipico andamento dell'energia minima d'innesco con la concentrazione.
(da Rolf K Eckhoff - Dust explosions in the process industries, Butterworld Heinemann, 1997)

Minimum ignition energy = energia minima d'innesco *Dust concentration = concentrazione di polvere*	*C_{stoich} = concentrazione stechiometrica* *$C_{worst\ case}$ = concentrazione corrispondente al caso peggiore*

La MIE è profondamente influenzata anche dalle dimensioni delle particelle, come mostra la Figura 12 per due diversi tipi di polveri. In linea di massima la MIE è proporzionale al cubo del diametro delle particelle.

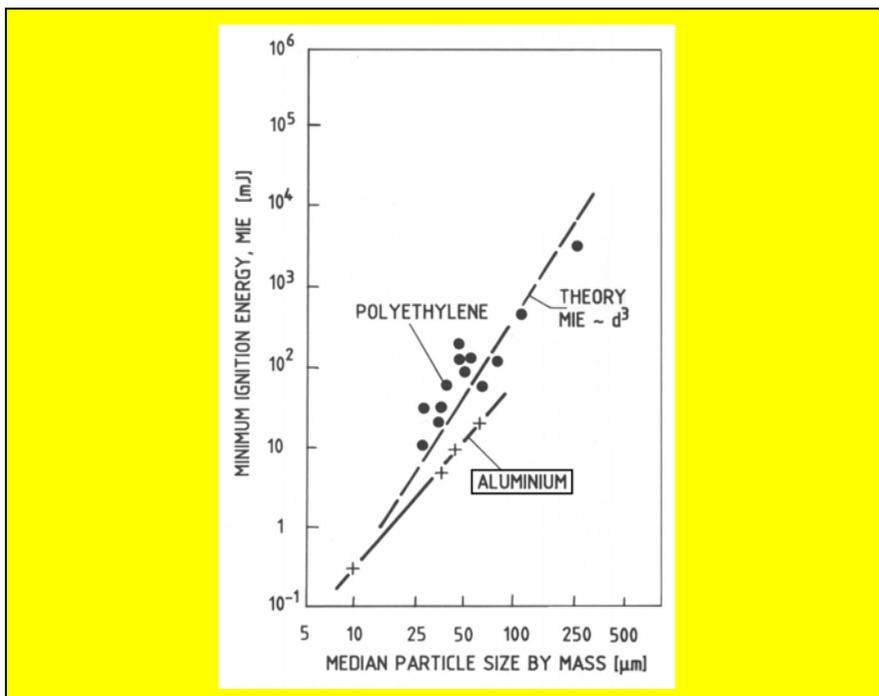



Fig. 12 Energia minima di innesco di nubi di polveri in aria.
(da Rolf K Eckhoff - Dust explosions in the process industries, Butterworld Heinemann, 1997)

Minimum ignition energy, MIE = energia minima d'innesco [mJ] *Median particle size by mass = dimensione equivalente delle particelle*	*Aluminium = alluminio* *Polyethylene =polietilene* *Theory MIE = energia minima teorica di innesco*

3.8 Temperatura di autoaccensione

Temperatura di autoaccensione temperatura minima alla quale una miscela combustibile - comburente deve essere portata perché si accenda spontaneamente. Per temperature inferiori alla temperatura di autoaccensione, per provocare l'accensione della miscela, si deve usare una sorgente esterna (fiamma, scintilla, filamento caldo, ecc.) mentre per valori superiori non è necessario.

La temperatura di autoaccensione è molto influenzata dalle condizioni in cui la determinazione viene effettuata. Così, sperimentando in sistemi di flusso, in sistemi statici, in reattori di differenti materiali, ecc. si ottengono differenti temperature di autoaccensione. Per questa ragione, le temperature di autoaccensione non possono essere considerate come valori fondamentali.

Per le polveri, la temperatura di autoaccensione dipende dai seguenti fattori:

- ***Condizioni di dispersione in aria***: polveri aerodisperse in modo omogeneo o eterogeneo o polvere depositata.
- ***Contenuto d'umidità***: un aumento nella percentuale d'umidità provoca un aumento della temperatura di autoaccensione.
- ***Condizioni di contorno*** che dipendono dal volume del contenitore rispetto alla quantità di polvere e dalla natura delle pareti.

L'autoaccensione non è un fenomeno immediato: quando si introduce una miscela infiammabile in un recipiente la cui temperatura è uguale o superiore alla sua temperatura di autoaccensione, la miscela si infiammerà dopo un periodo più o meno breve di tempo, noto come "*periodo di induzione*" o "*ritardo all'accensione*". Cioè l'accensione è spontanea, ma non istantanea. Il ritardo all'accensione aumenta al diminuire della temperatura, raggiungendo il suo massimo alla temperatura di autoaccensione.

3.8.1 Turbolenza

Come accennato, in generale il moto di un fluido può avvenire secondo due modalità distinte: si parla di moto laminare e di moto turbolento.

Il ***moto laminare*** è caratterizzato da un moto rettilineo unidirezionale di strati di fluido in forma di lamine entro un condotto di sezione costante; come si vede in Figura, le componenti della velocità sono nulle eccetto la componente nella direzione del moto, la quale, a sua volta, è costante in questa direzione. Il moto del fluido in un punto qualunque del campo di moto è quindi caratterizzato esclusivamente dalla velocità media.

Il moto laminare è nella pratica piuttosto raro; infatti, non appena gli effetti dell'inerzia diventano abbastanza importanti rispetto alla resistenza viscosa, il moto di un fluido reale non si svolge più per strati paralleli, ma le particelle passano continuamente e tumultuosamente da una zona all'altra del tubo: si parla in questo caso di ***moto turbolento***.

Per caratterizzare il moto del fluido in un punto del campo turbolento, la velocità media non è più sufficiente: ciascun punto del campo di moto è caratterizzato dalle componenti del vettore velocità media e dalle oscillazioni delle componenti stesse attorno al loro valor medio.

Lo stato critico di passaggio dal comportamento di moto laminare a quello di moto turbolento dipende da:

- caratteristiche del fluido (densità ρ e viscosità μ, corrispondenti alla sua temperatura);
- velocità media v nella sezione;
- dimensione trasversale del condotto (nel caso di un tubo circolare abbastanza lungo, dal diametro d).

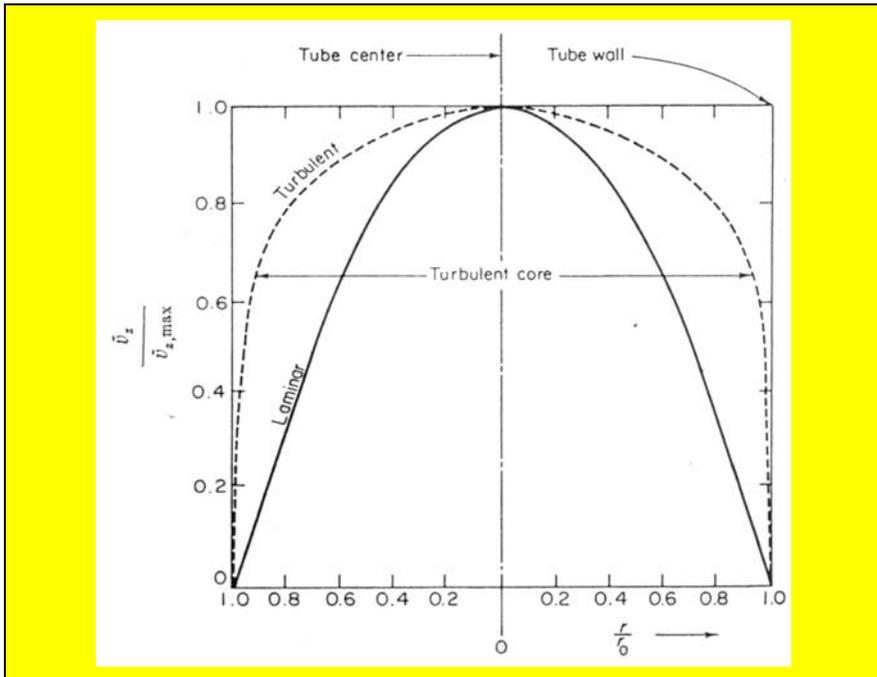



Fig. 13 Profilo delle velocità nel moto laminare e turbolento in un tubo di raggio r_0 (da S. Whitaker, Introduction to fluid mechanics, Ed. Neal R. Amudson)	
Tube center = asse del tubo *Tube wall =parete del tubo*	*Turbulent core = zona a flusso turbolento*

Queste grandezze si combinano in un parametro dimensionale, il *Numero di Reynolds*:

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu}$$

Esso rappresenta il rapporto fra le forze di inerzia (le quali tendono ad esaltare le perturbazioni del moto) e le forze viscose (le quali tendono invece a smorzarle).

In Figura 14 sono schematizzate le fasi dell' insorgere del moto turbolento.

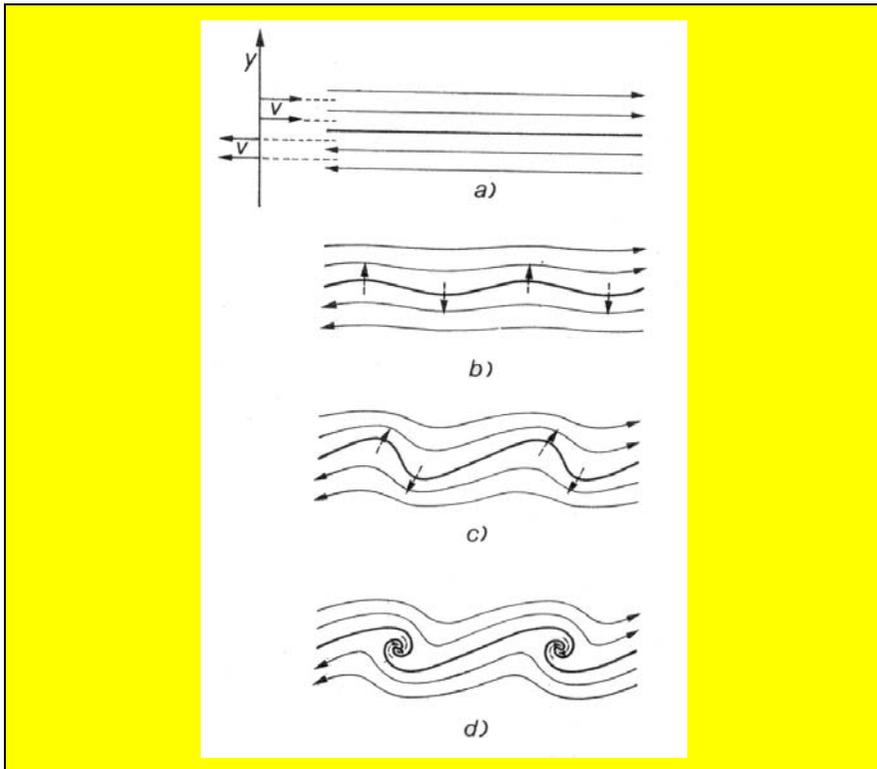



Fig. 14 Fasi dell'insorgere del moto turbolento

- *a)* *presenza di una discontinuità nella distribuzione delle velocità in un moto laminare;*
- *b)* *movimento ondulatorio determinato da una piccola deviazione dall'iniziale andamento rettilineo di una linea di corrente attraverso cui avviene la discontinuità: la velocità aumenta localmente dove le linee di corrente tendono ad avvicinarsi (cioè attorno ai vertici) e diminuisce dove esse tendono a distanziarsi; la pressione varia in modo contrario. La differenza di pressione risulta sempre tale da esaltare l'ondulazione iniziale;*
- *c)* *fase in cui le velocità relative attorno ai vortici superano la velocità di avanzamento del moto ondoso, cosicché le ondulazioni ripiegandosi su se stesse danno luogo ad un fenomeno di frangivento;*
- *d)* *sviluppo di una serie di vortici.*

Si possono considerare due diversi tipi di turbolenza. La prima, detta turbolenza iniziale, è generata da processi industriali nei quali la nube di polveri, passando per esempio in un ventilatore o in un restringimento, aumenta la sua velocità.

La seconda è generata dall'esplosione stessa, a causa del flusso di particelle incombuste spinte dal propagarsi della fiamma. Il livello di turbolenza generato in questo modo dipende dalla velocità del flusso e dalla geometria del sistema.

In assenza di turbolenza, la propagazione della fiamma è laminare e l'andamento del fronte di reazione è limitato a una superficie. Dal momento che nel moto turbolento i coefficienti di trasporto di calore e materia sono decisamente superiori rispetto al moto laminare, la turbolenza causa un drastico aumento della velocità di combustione, che accelera l'andamento con cui si sviluppa l'esplosione.

A certi livelli di turbolenza, l'innesco di una nube di polvere, ad esempio con arco elettrico o con una superficie calda, è ostacolato dal fatto che il calore d'innesco viene rapidamente disperso. Perciò l'accensione di una nube di polvere fortemente turbolenta richiede un'energia maggiore di quella necessaria nel caso di moto laminare. Una volta innescata, però, una nube di polvere turbolenta brucia molto più velocemente, in quanto il moto turbolento fa sì che i vortici siano catturati dal fronte di fiamma e i gas e le polveri che trascina vengono trasformati in prodotti di combustione, continuando a mantenere il loro movimento casuale.

Questo tipo di moto nel gas bruciato causa molteplici inneschi e accelera il processo di combustione, in quanto la turbolenza permette di miscelare le particelle bruciate con quelle incombuste e quindi non si ha più un fronte di fiamma piatto, ma uno che si propaga in modo irregolare. Il numero di vortici e la velocità di perturbazione sono funzione dell'intensità della turbolenza.

Inoltre altri fenomeni aerodinamici riforniscono i meccanismi di accelerazione volumetrica dello sviluppo della combustione; ne è un esempio lo sviluppo di onde acustiche che interagiscono con il fronte di fiamma. Gli effetti della turbolenza sono accentuati e devastanti quando il volume delle fiamme è parzialmente confinato in un tubo o in una galleria. Sviluppandosi verso l'esterno il gas bruciato genera dietro di sé l'espansione del fronte di fiamma e spinge fuori la miscela non ancora bruciata.

Per una tipica velocità di fiamma e un diametro del tubo di pochi centimetri, il numero di Reynolds di un flusso di miscela incombusta raggiunge rapidamente il valore critico per la generazione della turbolenza.

Questo processo è autoaccelerante e, se il tubo è lungo e ampio, può anche evolvere a detonazione: l'onda di combustione agisce come un pistone accelerante esercitando una pressione sui gas incombusti che si trovano ancora nel tubo.

3.9 Infiammabilità e sorgenti di innesco

Per accendere una miscela polvere - aria, compresa entro i limiti di esplodibilità, è necessaria la presenza di un innesco.

Dall'esame delle statistiche relative alle esplosioni risulta un gran numero di possibili sorgenti di accensione di diversa energia, durata, ecc.; esse possono essere grossolanamente suddivise come segue.

1. ***Fiamme libere***: una fiamma libera è di solito in grado di sviluppare quantitativi di energia superiori all'energia minima di innesco in grado di avviare la reazione di ossidazione di una nube di polveri.
2. ***Saldatura e taglio***: le operazioni di saldatura e taglio sono potenziali sorgenti di accensione in quanto generano particelle incandescenti che vengono proiettate in tutte le direzioni e che possono raggiungere distanze considerevoli.
3. ***Particelle incandescenti**:* capaci di provocare un'esplosione da polvere possono anche essere introdotte nelle operazioni di essiccamento se si utilizza il riscaldamento diretto.
4. ***Attrito o urto***: l'attrito che si può avere fra due corpi che sfregano fra di loro, può portare ad un progressivo aumento di calore. Questo provoca riscaldamento delle superfici e, in alcuni casi, scintille. La potenza di innesco dipende dall'energia meccanica disponibile, dalla velocità di generazione del calore e dalla sua velocità di dissipazione. Se si ha un breve ma forte impatto fra due corpi solidi, piccoli frammenti di materiale solido possono essere proiettati in aria e, se di metallo, incendiarsi in quanto hanno assorbito calore durante l'impatto. In più, punti caldi con energia d'innesco sufficiente

possono essere generati nel punto d'impatto. Le scintille da frizione o da urto sono solitamente considerate assieme, a causa della difficoltà di distinguerle nei casi pratici[4] [5]

5. ***Superfici calde***: possono causare l'innesco di nubi o strati di polvere nel momento in cui la loro temperatura supera quella di autoaccensione. Esempi di superfici calde possono essere quelle di apparecchiature, tubi di vapore in alta pressione, motori elettrici o termici, ecc..
6. ***Scintille elettriche ed elettrostatiche***: scintille elettriche, causate ad esempio dall'apertura o chiusura di un circuito, oppure in caso di guasto, posseggono in genere energia sufficiente all'innesco. Anche le scariche di origine elettrostatica possono accendere nubi di polvere.

3.10 Polveri brucianti senza fiamma

Le polveri combustibili, quando depositate in strato, possono dare origine ad una combustione lenta, senza fiamma e auto - sostenuta dal calore che si sviluppa durante la reazione di ossidazione stessa (*combustione "a brace"*)[6].

La propagazione del fronte di combustione è controllata principalmente dalla velocità di apporto di ossigeno per diffusione e convezione alla zona di reazione: la ventilazione forzata favorisce quindi l'ampliamento del fronte di combustione.

Il processo di transizione dalla combustione a brace alla combustione con fiamma è essenzialmente spontaneo: qualunque fattore che possa incrementare la velocità di generazione del calore o diminuirne combustione, incrementando la temperatura locale.

[4] Per evitare la formazione di scintille si devono adoperare metalli che non danno luogo al fenomeno, quali acciaio inossidabile, ottone, rame.
[5] Va sottolineata anche a riguardo l'importanza del controllo e della manutenzione, ad esempio con riferimento al pericolo di surriscaldamento di cuscinetti, ecc..
[6] A titolo di ordine di grandezza si può affermare che le velocità del rilascio di calore sono dell'ordine di alcuni kW/m^2 di fronte di combustione, con temperature dell'ordine di 670-690°C.

4 Esplosioni di polveri di alluminio

4.1 Proprietà chimico - fisiche dell'alluminio

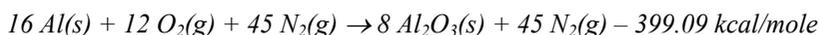
L'alluminio appartiene al terzo gruppo del sistema periodico degli elementi. Pertanto risulta essere, tra i metalli, particolarmente ossidabile.

Le caratteristiche chimico - fisiche salienti sono riassunte nella tabella seguente.

Tabella 3: Proprietà chimico - fisiche dell'alluminio

Numero atomico	13
Peso atomico	26,97 UMA
Struttura cristallina	FCC (cubico a facce centrate)
Punto di fusione	658 °C
Punto di ebollizione	2270 °C
Calore specifico	0,90 J/g · °C
Conduttività termica	210 W/m · °C
Coefficiente di espansione lineare (20-100°C)	$24*10^{-6}$/°C
Calore latente di fusione	386,9 J/g
Calore latente di evaporazione	9462 J/g
Conducibilità termica	0,230 kJ/m · h · K
Conduttività elettrica	62 ÷ 62.9% IACS (Cu 100%)
ΔH di reazione	7300 cal/g

L'alluminio reagisce molto facilmente con l'ossigeno dell'aria anche a temperatura ambiente, secondo la reazione

$$16\ Al(s) + 12\ O_2(g) + 45\ N_2(g) \rightarrow 8\ Al_2O_3(s) + 45\ N_2(g) - 399.09\ kcal/mole$$

Il metallo allo stato massivo (lingotto) si ricopre di un sottile strato di ossido molto compatto che impedisce all'ossigeno di diffondere per raggiungere il metallo inalterato sottostante e proseguire la reazione. Il

calore di reazione in questo caso è sviluppato in quantità modesta, in quanto la superficie esposta è piccola, e inoltre perché esiste una grande massa di metallo (il lingotto) in grado di assorbire il calore. Di conseguenza, le sollecitazioni termiche sono pressoché trascurabili, al punto che l'aumento di temperatura non è praticamente osservabile e il processo si esaurisce naturalmente.

Nel caso in cui il materiale sia finemente suddiviso, la polvere brucia con facilità. Infatti, l'ossidazione superficiale interessa un quantitativo di materiale molto più elevato. Inoltre, essendo la massa delle particelle piccola, il calore sviluppato dalla reazione non è disperso e la temperatura delle particelle aumenta notevolmente. Questo provoca anche un incremento della velocità di reazione che può avere decorso esplosivo.

È generalmente riconosciuto che il rischio d'esplosione per le polveri d'alluminio è estremamente elevato soprattutto se le dimensioni delle particelle sono molto piccole, perché in questo caso l'energia minima d'innesco è molto ridotta.

Il rischio d'esplosione assume caratteristiche più moderate quando la polvere è costituita da particelle di diametro superiore a 100 μm. Peraltro è riconosciuto che una nube di particelle di alluminio grossolane ($d > 100$ μm) che contenga anche solo una piccola quantità di particelle molto fini è facilmente innescabile.

Il problema fondamentale quindi consiste, laddove possibile, nel controllo delle dimensioni delle particelle.

Nella tabella che segue sono riportati i parametri caratteristici della polvere di alluminio, tratti dalla norma CEI 64-2:1998-08.

Nelle fotografie della figura 16 si comparano le particelle di polvere di alluminio prima e dopo la combustione o esplosione (le particelle di alluminio sono tutte completamente vaporizzate durante l'esplosione nel fronte di fiamma; il residuo della combustione consiste in fini particelle di alluminio ossidato prodotto e alluminio che non ha reagito, che ricondensa in fini particelle dopo il raffreddamento).

Tabella 4: caratteristiche delle polveri di alluminio (CEI 64-2:1998-08)	
Alluminio atomizzato	
Limite inferiore di esplodibilità	0,040 kg/m^3
Energia minima d'innesco	$50 \cdot 10^{-3}$ J
Temperatura minima d'innesco della nube	700 °C
Temperatura di lenta combustione	320 °C
Alluminio stampato	
Limite inferiore di esplodibilità	0,035 kg/m^3
Energia minima d'innesco	$20 \cdot 10^{-3}$ J
Temperatura minima d'innesco della nube	645 °C
Temperatura di lenta combustione	585 °C

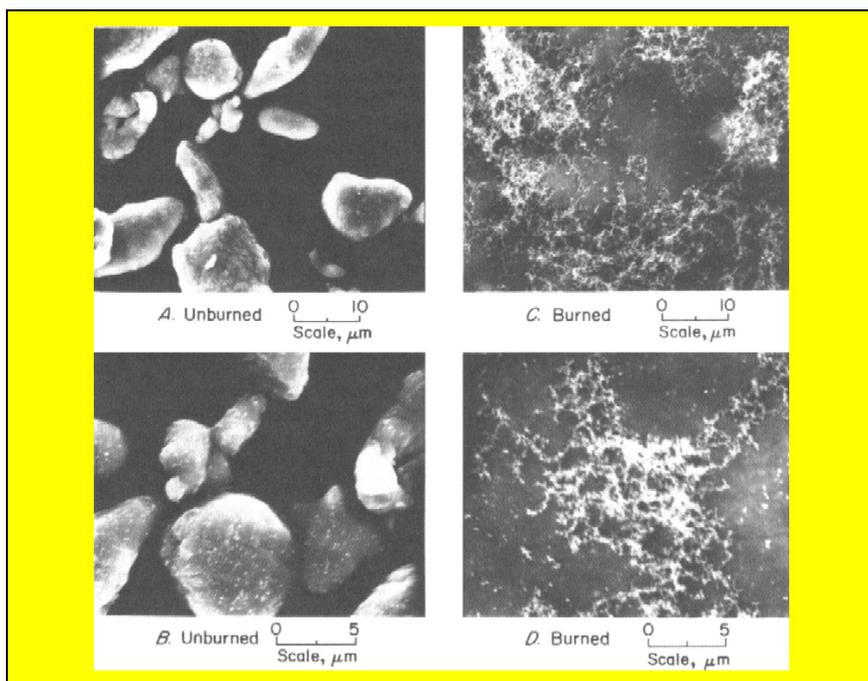



Fig. 16 Micrografie di polveri di alluminio prima e dopo la combustione.

Unburned = prima della combustione	*Burned = dopo la combustione*

4.2 Il decorso delle esplosioni di polvere di alluminio

Il decorso delle esplosioni da polvere di alluminio è molto violento, perché gli indici di esplosione descritti nel § 3.3 sono particolarmente elevati:

Tabella 5: indici di esplosione per polveri d'alluminio	
indice	**valore**
p_{max}	12,4 bar
k_{max}	620 bar m / s

Le variabili operative influenzano le caratteristiche e il decorso dell'esplosione secondo quanto riportato, in via generale, nei § 3.5-3.8.

Nel seguito verranno puntualizzati brevemente alcuni aspetti quantitativi o peculiari.

4.2.1 Il tenore di comburente

La Figura 17 riporta l'indice p_{max} rispetto al contenuto di ossigeno comburente. A concentrazioni di ossigeno inferiori al 10%, la pressione sviluppata nel corso dell'esplosione è relativamente bassa perché la reazione è confinata alla zona di innesco, non c'è quindi propagazione del fronte di fiamma.

Se il contenuto di ossigeno è compreso tra il 10 e il 15%, la zona di reazione si allarga e inizia a propagarsi. Quando la percentuale di ossigeno supera il 16%, la reazione ha luogo con violenza esplosiva.

La Figura 18 riporta l'andamento dell' energia minima di innesco rispetto al contenuto di ossigeno: essa si riduce di un fattore pari a 1,4 passando dal 21% al 15% in volume di ossigeno, e di un fattore di 2 passando dal 21% al 8% in volume di ossigeno.

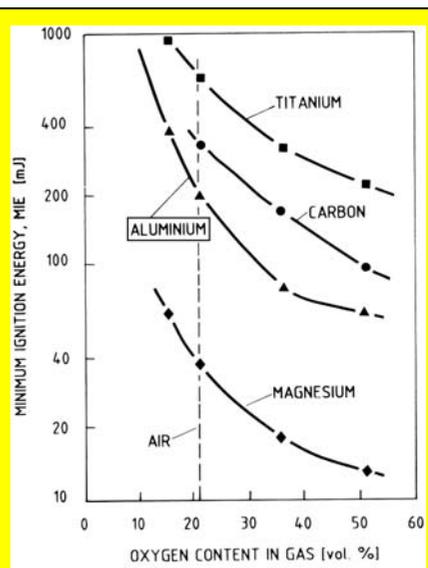
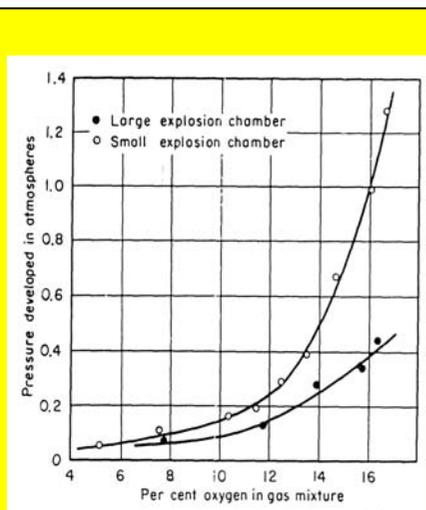



Fig. 17 *Relazione pressione/concentrazione di ossigeno in un'esplosione di polveri di alluminio. Aria miscelata con anidride carbonica in varie percentuali.*	*Fig. 18 Influenza del contenuto in ossigeno sull'energia minima di innesco in nubi di polveri differenti. Pressione iniziale: 0,2 bar.* *Diametro delle particelle: 40 µm.* *(da Rolf K Eckhoff - Dust explosions in the process industries, Butterworld Heinemann, 1997)*
Pressure developed = pressione sviluppata [atm] *Large/small explosion chamber = camera di prova grande/piccola* *Per cent oxygen in gas mixture = percentuale di ossigeno nella miscela*	*Minimum ignition energy, MIE = energia minima d'innesco [mJ]* *Oxygen content in gas = ossigeno [%volume]* *Aluminium = alluminio* *Titanium = titanio* *Carbon = carbonio* *Magnesium = magnesio*

4.2.2 Dimensioni delle particelle

La velocità della combustione delle polveri di alluminio in aria aumenta con la superficie specifica delle polveri; per questo motivo la $(dP/dT)_{max}$ cresce linearmente al crescere della superficie specifica, come illustrato dal grafico in Figura 19.

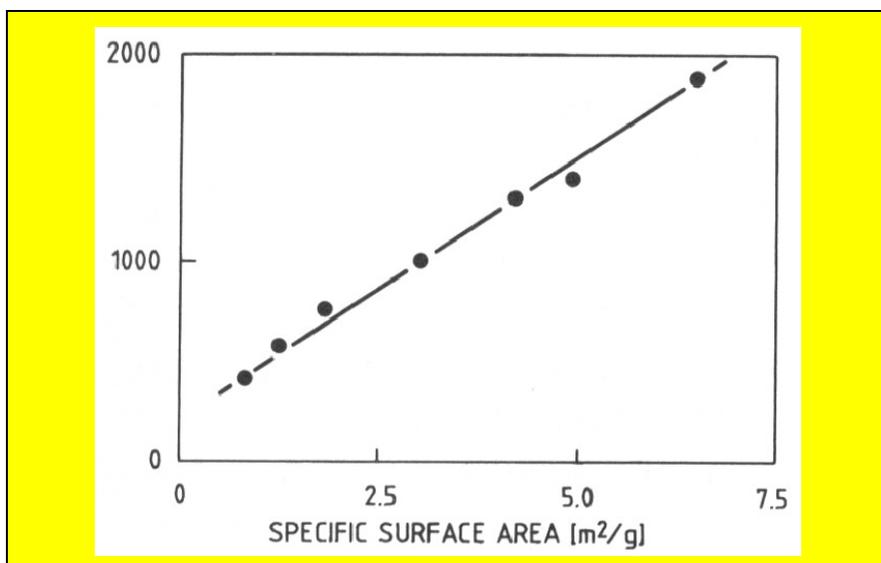



Fig. 19 Influenza della superficie specifica della polvere di alluminio sull'incremento massimo di pressione.
(da Rolf K Eckhoff - Dust explosions in the process industries, Butterworld Heinemann, 1997)

Specific surface area = superficie specifica [m^2/g]

La Figura 20 mostra l'andamento del massimo incremento di pressione in funzione delle dimensioni medie delle particelle osservato per polveri di alluminio al confronto con altre sostanze.

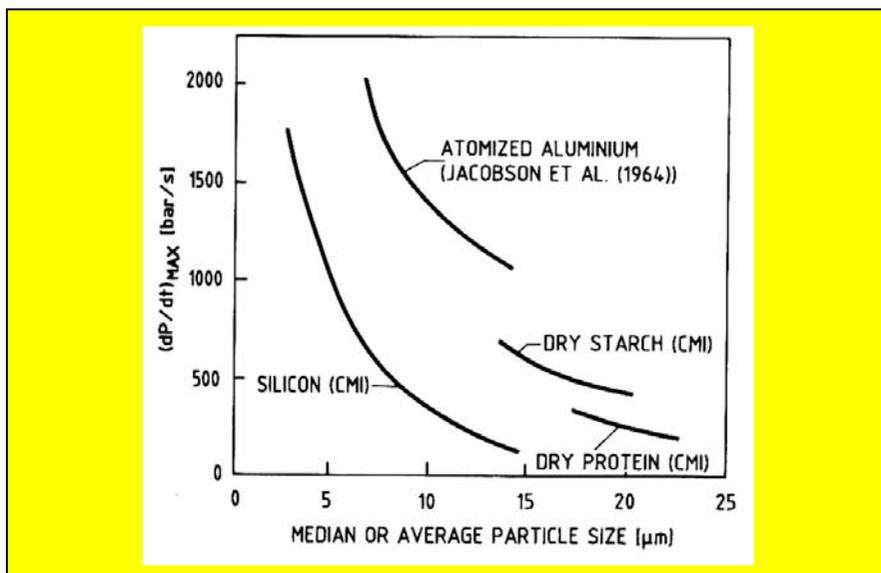
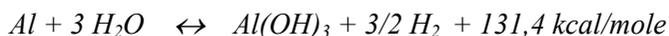



Fig. 20 Incremento della pressione in funzione delle dimensioni delle particelle aerodisperse: confronto tra alluminio e altre sostanze.
(da Rolf K Eckhoff - Dust explosions in the process industries, Butterworld Heinemann, 1997)

Median or average particle size = dimensione media della particella [μm]	*Atomized aluminium = alluminio atomizzato* *Silicon = silicio* *Dry starch =amido secco* *Dry protein = proteina secca*

4.2.3 Umidità

Sebbene, in via del tutto generale, l'aumento di umidità diminuisca il pericolo d'esplosione e mitighi la violenza del fenomeno, tuttavia occorre ricordare che l'alluminio, reagendo con l'acqua, libera idrogeno e calore secondo la reazione

$$Al + 3\,H_2O \leftrightarrow Al(OH)_3 + 3/2\,H_2 + 131{,}4\ kcal/mole$$

Questa reazione, essendo estremamente esotermica, porta ad un forte aumento di temperatura delle particelle coinvolte che, a sua volta, accelera notevolmente il decorso della reazione.

Per questo motivo, i fanghi di polvere di alluminio, raccolti in contenitori di volume significativo, avendo difficoltà a smaltire il calore di reazione, possono dar luogo ad un surriscaldamento molto violento che si può tradurre nell'innesco dell'idrogeno sviluppato se non adeguatamente disperso. Si rammenta al riguardo che il limite inferiore di esplosività per l'idrogeno in aria, a temperatura ambiente, è pari al 4%.

4.3 Analisi storica di incidenti occorsi

4.3.1 In aziende del VCO

Per avere un'idea dell'entità e delle conseguenze delle esplosioni verificatesi nell'ultimo decennio nell'area del Verbano Cusio Ossola, è sufficiente considerare i dati compendiati in Tabella 6:

Tabella 6: dati sulle esplosioni verificatesi nell'ultimo decennio	
Numero di esplosioni dal 1990 a oggi	6
Gravità degli infortuni	2 morti e 16 feriti
2 incidenti con più di un infortunio	Un primo incidente con 2 feriti gravi e un secondo con 11 feriti
Impatto verso i vicini in occasione delle tre esplosioni più rilevanti	I primi due eventi hanno comportato danni limitati: danneggiamento di muri perimetrali e proiezione di piccoli frammenti metallici; l'ultimo evento ha avuto invece conseguenze rilevanti anche su abitazioni vicine e aziende confinanti

Nel seguito sono descritti gli incidenti più recenti e particolarmente importanti per la loro dinamica e la magnitudine dei danni.

Caso a)

L'incidente è avvenuto nel dicembre del 1999 in uno stabilimento di media dimensione (≈15 impiegati), si effettuava esclusivamente la finitura superficiale di caldaie e raccoglitori in allumino. Lo stabilimento è caratterizzato da un elevato grado di automazione, in quanto dotato di tre giostre a sei teste equipaggiate con caricatori automatici per la finitura a nastro e/o mola lamellare. Per ogni punto di lavorazione vi sono due punti di captazione delle polveri con bocche a becco di flauto, dotate di valvola a farfalla per l'esclusione del ramo eventualmente inutilizzato. L'impianto di captazione convoglia la polvere dai punti di raccolta a un unico

collettore in tubo di acciaio inossidabile a giunti graffati di grandi dimensioni nel quale confluiscono i rami provenienti dalle singole macchine. Il collettore conduce la sospensione gas-solido a un abbattitore ad umido dotato di tubo Venturi, modello rotoclone. Dal rotoclone l'aria depurata è prelevata per mezzo di un ventilatore centrifugo e inviata in atmosfera attraverso un camino.

Una violentissima esplosione si è verificata un venerdì pomeriggio, quando alcune delle macchine molatrici non erano più in funzione ed erano in corso le operazioni di pulizia dell'unica giostra racchiusa da una cabina d'insonorizzazione.

I danni principali caratterizzanti l'evento sono stati:

- distruzione totale dell'impianto di captazione polveri;
- disassemblaggio dei giunti graffati del collettore principale;
- squarcio della camera d'ingresso del lavatore a umido;
- disassemblaggio del collettore tra lavatore a umido e ventilatore;
- abbattimento del camino;
- estesi danni da incendio nel reparto, localizzati in prossimità delle bocche di captazione a bordo delle macchine operatrici;
- abbattimento di parte della cabina d'insonorizzazione che circondava la giostra;
- abbattimento del capannone nel quale erano situate le macchine smerigliatrici e i collettori, con caduta delle capriate e, di conseguenza, del tetto, rottura dei pilastri in calcestruzzo armato a sostegno di una parete, abbattimento di buona parte delle pareti;
- nel corso dell'evento, a seguito delle ustioni riportate, è deceduto l'operatore che effettuava la pulizia della giostra insonorizzata.

L'evento appare riconducibile a una complessa esplosione da polvere di alluminio. I danni occorsi alle strutture murarie, più importanti di quelli alla cabina di insonorizzazione e al collettore d'aspirazione, lasciano intendere il verificarsi di un'esplosione primaria nel collettore che, disassemblato, ha permesso la fuoriuscita di una grande quantità di polvere che ha provocato un'esplosione secondaria nell'edificio.

Caso b)

L'incidente è avvenuto nel giugno del 2000 in un capannone di media dimensione, in cui si eseguono la smerigliatura e altre operazioni di finitura superficiale, sia della parte superiore (raccoglitore) sia inferiore (caldaia) di caffettiere di alluminio. Il parco macchine conta 14 smerigliatrici.

L'esplosione ha interessato l'intero sistema di abbattimento delle polveri e pare essersi generata al suo interno.

I danni principali caratterizzanti l'evento sono stati:

- rottura quasi completa delle superfici vetrate circostanti lo stabilimento;
- deformazione delle porte e delle pareti del capannone in oggetto e di quello adiacente e, in particolare, della colonna posta di fronte al filtro a maniche;
- deformazioni sui manufatti murari e metallici situati intorno all'area occupata dall'impianto di abbattimento, causate dai numerosi frammenti metallici in cui gli elementi costituenti l'impianto stesso si sono suddivisi per effetto della violenza dell'evento esplosivo;
- proiezione, a notevole distanza, dei pannelli di sovrappressione e ispezione del filtro, fino a penetrare all'interno della vicina ditta meccanica o a impattarsi contro la recinzione;
- distruzione del camino di espulsione dell'aria posto a valle dell'aspiratore;
- incendio di alcuni lucernari in policarbonato del capannone adiacente;
- distruzione e proiezione a distanza delle tubazioni di collegamento tra il capannone e il ciclone, nonché di quelle tra questo e il filtro a maniche;
- rottura parziale della saldatura posta sulla superficie superiore del ciclone;
- deformazione della superficie laterale cilindrica del ciclone per impatto con un frammento metallico del filtro, probabilmente un portello di sovrappressione;

- notevole deformazione plastica del tubo centrale del ciclone (via di scarico);
- violenta proiezione del fondo del canale emicircolare della coclea sul pavimento con suo completo appiattimento;
- proiezione dei cestelli delle maniche nel cortile della ditta adiacente e deformazione della loro sezione di attacco ai "Venturi" in un modo che rende verosimile la rottura del filtro ad iniziare dal punto d'ingresso della corrente gassosa (lato ciclone);
- cedimento delle tubazioni poste all'interno del capannone nelle zone di minor resistenza (in particolare, nei punti di raccordo con i collettori di aspirazione delle macchine) e in corrispondenza delle sezioni a superficie maggiore o, a parità di sezione, di maggiore lunghezza;
- deformazione delle strutture di contenimento polveri (carter) delle smerigliatrici.

Fig. 21 Impianto di aspirazione esploso visto dall'alto

Fig. 22 Filtro a maniche esploso

Fig. 23 Danni strutturali e quadro elettrico bruciato

L'evento esplosivo è riconducibile ad un rapido aumento di pressione all'interno del sistema di abbattimento delle polveri generate dal processo produttivo. Presumibilmente la rottura o lo sganciamento del nastro abrasivo all'interno del carter di una smerigliatrice ha prodotto il rimescolamento della polvere d'alluminio accumulata e la produzione di scintille che hanno innescato la reazione.

Sulla macchina si è così potuta generare la prima piccola esplosione, che ha favorito la produzione di scintille e di frammenti incandescenti della tela smeriglio che sono stati aspirati dall'impianto di abbattimento ed hanno causato l'accensione della polvere di alluminio nella parte inferiore del ciclone.

Difatti, in base ai valori di portata di aria aspirata, risulta mediamente insufficiente la quantità di polvere in grado di sostenere una combustione sia all'interno dei raccordi delle macchine con le tubazioni che portano al ciclone, sia all'interno di queste. Ossia vi è quasi sempre soddisfatta la condizione di concentrazione molto al disotto del limite inferiore di esplodibilità.

Il fronte di fiamma, procedendo alla velocità di solo qualche decina di metri al secondo, si è incanalato da un lato sul condotto di scarico del ciclone, verso il filtro a maniche, dall'altro nei due collettori di aspirazione, provocando la combustione delle polveri presenti nei cassoni delle smerigliatrici più vicine. Invece, il fronte di fiamma che si è incanalato verso il filtro, favorito anche dall'aspirazione in atto, ha provocato l'innesco multiplo delle polveri finissime presenti nei numerosi spazi e interstizi esistenti tra le maniche. Questa è la seconda deflagrazione, molto più violenta di quella avvenuta nel ciclone.

È questa seconda esplosione che, oltre a distruggere completamente il filtro a maniche proiettandone i frammenti anche molto lontano (più di 50 m), ha provocato i vistosi danni strutturali di cui si è detto.

4.3.2 In altre aziende (dati da letteratura)

Le esplosioni di polveri hanno radici molto antiche: il primo rapporto noto riguarda una esplosione di farina avvenuta in un mulino torinese nel 1785; in quell'occasione si pensò che la polvere dispersa avesse prodotto un gas infiammabile e che si fosse incendiata solo in seguito.

Nel medesimo periodo, erano frequenti anche le esplosioni nelle miniere di carbone e, anche in questo caso, si pensava che la causa fosse da ricercarsi nella formazione di gas infiammabile e non nella presenza di polvere in sospensione. Solo alla fine del diciannovesimo secolo si comprese che la polvere di carbone può bruciare ed esplodere anche in assenza di gas o che la farina, da sola, era responsabile delle numerose esplosioni nei mulini.

Durante il ventesimo secolo, la frequenza delle esplosioni di polveri, comprendente una varietà sempre maggiore di materiali, aumentò di pari passo con lo sviluppo delle attività industriali. Probabilmente

l'esplosione di polveri più devastante, in termini di perdita di vite, non occorsa nelle industrie di carbone, si è verificata nel 1919 nell'Iowa, USA, in una fabbrica di amido causandola morte di 43 persone.

Dopo i primi grossi incidenti con infortuni mortali (18 morti in un mulino scozzese nel 1872, 6 in una fabbrica francese di coloranti in polvere nel 1878 e 1.148 in una miniera di carbone statunitense nel 1907), alcuni gruppi di ricercatori statunitensi, inglesi e francesi cominciarono a studiare il problema. Il Bureau of Mines stabilì nel 1908 di indagare le cause delle esplosioni provocate da polvere e per 60 anni si studiarono le proprietà delle polveri di centinaia di materiali differenti. In tempi molto più recenti, l'Istituto di ricerca di Bonn si impegnò nello studio dei sili in seguito all'esplosione di un silo contenente zucchero (1966), lo stesso fece l'Olanda dopo l'esplosione di uno stabilimento per il foraggio e la Norvegia stimolata dall'esplosione di un silo contenente grano (1970).

E' difficile ottenere una statistica riguardante questi eventi in quanto sono noti solo gli incidenti riportati dalle autorità preposte, cioè quelli che hanno portato a infortuni o seri danni agli impianti e alle strutture. Un report dell'NFPA sulle esplosioni occorse negli Stati Uniti indica che:

- tra il 1900 e il 1956, 1.120 eventi hanno causato almeno 640 morti e più di 1700 infortuni;
- tra il 1958 e il 1977, 220 eventi si sono manifestati nelle industrie di grano causando 48 morti e 500 infortuni.

A titolo di esempio, si riporta una tabella relativa ai dati riguardanti circa 6.000 eventi incidentali, costituiti da esplosioni di polveri, rilevati in Germania e raccolti dall'Istituto cooperativo per la sicurezza del lavoro (Berufsgenossenschaftliche Institut fur Arbeitssicherheit –BIA-)

Tabella 7: dati riguardanti circa 6000 esplosioni di polveri	
Materiali /prodotti	**Eventi (%)**
Prodotti alimentari e mangimi	32
Legno	22
Carbone / torba	14
Metalli	11
Materiali sintetici	7
Carta	1
Altri materiali	13

Si propongono di seguito le descrizioni sommarie di altri eventi.

1) Esplosione di polvere di alluminio e idrosolfito di sodio in un impianto chimico – USA, 1995

Dell'acqua di lavaggio, accidentalmente fluita da un condotto ostruito in un reattore contenente polvere di alluminio e idrosolfito di sodio, portò alla formazione di solfuro di idrogeno. Mentre si stava tentando di ristabilizzare la situazione, si è verificata un'esplosione che causò 5 vittime e 9.900 infortunati.

2) Esplosione di polvere di magnesio e di alluminio – Millendon Australia, 01/09/1997

L'incidente si è verificato all'interno di un laboratorio posto in un grande edificio residenziale in cui erano immagazzinate complessivamente circa 1,7 tonnellate di polvere di magnesio e di alluminio stoccate in scatole di cartone.

L'accensione della prima scatola è stata causata dalle operazioni di saldatura o di smerigliatura fatte all'interno dello stesso laboratorio. L'incendio si è poi propagato a tutte le scatole contenenti polvere, alle

bombole di gas, alle vernici, agli oli generando un esplosione. L'edificio e quanto in esso contenuto è andato completamente distrutto.

3) Esplosione di polvere di alluminio e zolfo, Gullaug, Norvegia, 1973

L'esplosione è avvenuta in uno stabilimento per la produzione di miscela esplosiva, nella sezione di premiscelazione, che è andata completamente distrutta.

L'evento è occorso di giorno, poco prima dell'ora di pranzo, mentre dieci lavoratori si trovavano nel reparto. Di essi, cinque sono deceduti, due sono rimasti seriamente infortunati, due hanno subito danni minori e solo uno è rimasto illeso.

L'operazione in corso consisteva nel caricare 200 kg di polvere di alluminio, e altri componenti tra cui zolfo, in un miscelatore conico, rappresentato in Figura 24, dotato di coclea rivestita in gomma contenuta in un condotto cilindrico anch'esso rivestito in gomma. L'intero apparecchio era flussato con azoto. Un analizzatore di ossigeno provvedeva a fornire la misura della concentrazione del gas nel recipiente. Secondo le testimonianze, al momento dell'esplosione essa era entro i limiti. Il miscelatore, della capacità di 5,2 m^3, era interamente costruito con materiali antiscintilla.

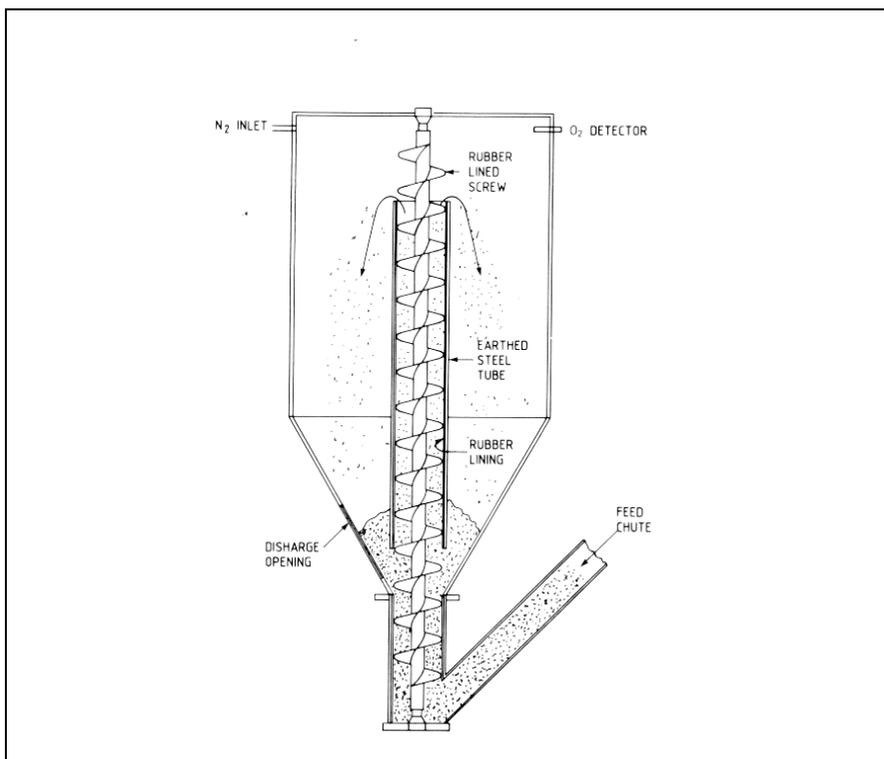



Fig.24 Il miscelatore statico in cui si è generata l'esplosione

N_2 inlet = ingresso dell'azoto *Discharge opening = apertura di scarico* *Feed chute = ingresso in caduta dell'alimentazione* *O_2 detection = sensore di ossigeno*	*Rubber lined screw = coclea rivestita di gomma* *Earthed steel tube = condotto in acciaio collegato a terra* *Rubber lining = rivestimento in gomma*

L'esplosione proiettò detriti a 75 m di distanza, e la coclea a 12 m.

Lo stato delle deformazioni subite dalla coclea (Figura 25) permise di affermare che l'esplosione ebbe origine a metà della stessa, e si propagò nel condotto cilindrico e poi all'intero miscelatore.

Fig.25 Coclea deformata a seguito dell'esplosione

Le indagini evidenziarono che:

- l'immissione dell'inerte e la sonda ossimetrica erano collocate nella parte superiore del miscelatore, la concentrazione di ossigeno nella parte inferiore era probabilmente molto maggiore;
- l'innesco fu con ogni probabilità di origine elettrostatica.

L'evento fu seguito da un violento incendio, i danni sono rappresentati nella fotografia 26

Fig.26 Danni derivanti dall'esplosione

4) Esplosione di polvere di alluminio, Anglesey, UK, 1983

L'esplosione avvenne in un impianto per la produzione di polvere di alluminio il cui schema è rappresentato in Figura 27. Al momento, un sabato sera, erano presenti tre operai di cui due rimasero infortunati.

Il processo consisteva nel disperdere in piccole gocce, con getti d'aria, l'alluminio fuso prelevato da due fornaci. Le gocce trascinate dall'aria entro due condotti orizzontali solidificavano ed erano separate e prelevate per mezzo di rotocelle, mentre l'aria andava a un ventilatore e quindi in atmosfera.

L'esplosione si propagò per tutto l'impianto, malgrado al momento solo la linea 1 fosse in funzione. Le evidenze non consentirono una ricostruzione accurata, ma probabilmente l'esplosione si originò nel primo stadio di separazione della linea 1 e causò una violenta esplosione secondaria. Le evidenze testimoniavano infatti di una violenta esplosione sia all'esterno sia all'interno della linea 2.

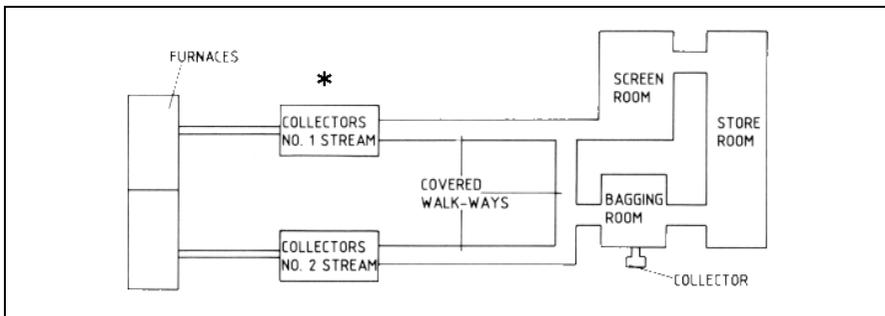



Fig.27 pianta dell'installazione industriale

** presunto punto di innesco Collectors n.1 & 2 stream = separatori linea 1 & 2 Covered walk vays = passaggi coperti*	*Screen room = locale di classificazione Store room = magazzino Bagging roon = locale insaccatura Collector = area spedizioni*

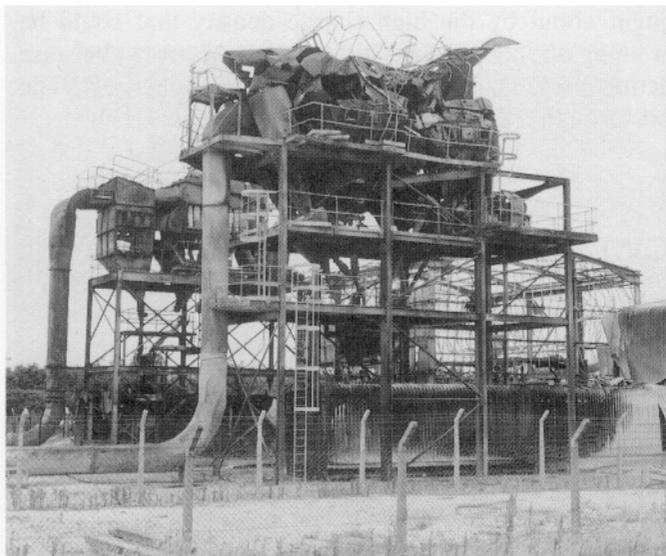



Fig.28 Danni al collettore 2

5 Valutazione e gestione dei rischi per i lavoratori sui luoghi di lavoro

5.1 Generalità

In generale, l'analisi finalizzata al miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori sul luogo di lavoro ***va ovviamente anzitutto fondata sulla verifica del rispetto delle prescrizioni generali contenute nei D.Lgs 626/94, 459/96, … e successive integrazioni e modifiche***.

A prescindere dunque dalle lavorazioni che verranno in tali luoghi effettuate, occorre dare inizialmente luogo ad una puntuale analisi "di struttura", in base alla quale valutare la accettabilità dei luoghi stessi, ad esempio in relazione a quanto stabilito al Titolo II "luoghi di lavoro" del citato D.Lgs 626.

Una volta assodata le piena rispondenza a tali requisiti essenziali, potrà essere affrontato il problema di eventuali criticità delle lavorazioni che si prevede di sviluppare: sulla scorta delle risultanze di tale analisi potranno essere identificati ulteriori requisiti cui la struttura di base deve rispondere, ed inserire gli altri aspetti di gestione dei rischi specifici individuati.

Nel caso di manipolazione di materiali che comportino la formazione e/o dispersione in aria di polveri infiammabili od esplodenti, il pericolo commesso è chiaramente indicato fin dal 1955 nel **DPR 547/55** *(art. 331 "Nei luoghi ove vengano eseguite lavorazioni che sviluppino polveri comportanti pericoli di esplosione o incendio, sono ammesse soltanto installazioni elettriche per forza motrice di tipo "antideflagrante" o di tipo stagno chiuso, tali da impedire l'accensione dei miscugli esplosivi (...)").*

Le affermazioni di principio del DPR 547/55 trovano la loro esplicitazione dettagliata nelle norme di sicurezza emanate dal CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano), dall'UNI (Ente Nazionale Italiano di Unificazione) e nelle Direttive Europee.

Le principali norme di riferimento di questo tipo sono le seguenti (elenco non esaustivo):

- UNI EN 1050 (1998) *Sicurezza delle macchine – valutazione del rischio* (EN 1050 1996);
- EN 1127-1 *(August 1997) Explosive atmospheres – Explosion prevention and protection – part 1: Basic concept and methodology.*
- CEI EN 60204 (CEI 44-5) *Equipaggiamento elettrico delle macchine (aprile 1998) ([7]);*
- Direttiva 94/9/CE (Atex 100 A) del 23 marzo 1994, concernente il riavvicinamento delle legislazioni degli stati membri relative agli apparecchi e sistemi di protezione destinati ad essere utilizzati in atmosfera potenzialmente esplosiva, recepita dal DPR 23 marzo 1998, n.126: regolamento recante norme per l'attuazione della Direttiva 94/9/CE, data di adeguamento 30 giugno 2003.
- UNI EN 954-1 *Sicurezza del macchinario - Parti dei sistemi di comando legate alla sicurezza - Principi generali per la progettazione (dicembre 1998).*
- Direttiva 99/92/CE (Atex 118 A) del 16 dicembre 1999, relativa alle prescrizioni minime per il miglioramento della tutela della sicurezza e della salute dei lavoratori che possono essere esposti al rischio di atmosfere esplosive (15° direttiva particolare ai sensi dell'art.16 paragrafo 1 della Direttiva 89/391/CE, data di adeguamento 30 giugno 2003.
- Guida CEI R044-001 (1999- 2000) *Sicurezza del macchinario – Guida e raccomandazioni per evitare i pericoli dovuti all'elettricità statica ([8])*

---

[7] il materiale elettrico per le atmosfere esplosive è inoltre soggetto ai requisiti di cui alle seguenti Direttive Europee: 76/117 CEE, 79/196/CEE, 94/26/CE, 82/130/CEE, 88/35/CEE, 91/269/CEE, nonché alle Norme Europee relative alle atmosfere esplosive, tra cui EN 50014, EN 50015, EN 50016, EN 50017, EN 50018, EN 50019, EN 50020, EN 50021, EN 50028, EN 50039, EN 50050, EN 50053-1, EN 50053-2, EN 50053-3, EN 50054, EN 50055, EN 50056, EN 50057, EN 50058, EN 50059, ove applicabili.
I circuiti di comando devono essere realizzati in conformità alla norma UNI EN 954-1.
Si sottolinea inoltre (v. EN 1127-1) che la realizzazione dei circuiti di comando utilizzando la bassissima tensione (ed es. inferiore a 50 V c.a.) non è una misura destinata alla protezione contro l'esplosione, ma alla protezione contro la folgorazione: *i circuiti alimentati in bassissima tensione hanno comunque energia sufficiente per accendere le miscele esplosive così come i circuiti in bassa tensione.*

IL CRITERIO GENERALE INDICATO DALLE SUDDETTE NORME È LA NECESSITÀ DI EFFETTUARE UN'ANALISI DEL RISCHIO DI ESPLOSIONE CONNESSO ALLA TIPOLOGIA DELLA LAVORAZIONE.

Al riguardo la norma UNI EN292-1 indica all'art. 5:

"le misure di sicurezza sono una combinazione delle misure adottate in fase di progettazione e di quelle richieste a cura dell'utilizzatore. In ogni caso il progettista deve, nel seguente ordine:

specificare i limiti della macchina (…);

- individuare i pericoli e valutare i rischi (…)."

I diversi pericoli che una macchina può produrre sono elencati al cap. 4 della stessa norma *"per facilitare l'analisi dei pericoli che una macchina può generare"*. Nell'elenco dei pericoli, al punto 4.8 è indicato:

> "I materiali e le sostanze trattate, utilizzate o scaricate dalla macchina, e i materiali di cui la macchina è costituita possono generare pericoli diversi:
> (…)
> pericoli di incendio e di esplosione;
> (…)"

Nell'allegato I della direttiva 89/392/CEE *"Requisiti essenziali di sicurezza e di salute relativi alla progettazione e alla costruzione delle macchine"* è indicato, all'art. 1.1.3:

> "I materiali utilizzati per la costruzione della macchina o i prodotti impiegati ed originati durante la sua utilizzazione non devono presentare rischi per sicurezza e la salute delle persone esposte"

più specificamente, all'art. 1.5.7 è detto:

> La macchina deve essere progettata e costruita in modo da evitare qualsiasi rischio di esplosione provocato dalla macchina stessa o da gas, liquidi, polveri, vapori ed altre sostanze prodotti o utilizzati dalla macchina. A tal fine il fabbricante prenderà le misure necessarie per:
>
> · evitare una concentrazione pericolosa dei prodotti;

[8] con specifico riferimento al caso in esame in sostanza si puo' affermare che *in base alle attuali conoscenze si deve assumere, in generale, che le scariche elettrostatiche siano in grado di innescare le miscele esplosive polvere/aria.*

- impedire l'accensione della miscela esplosiva;
- ridurre le conseguenze di un'eventuale esplosione in modo che non abbia effetti sull'ambiente circostante. (…) Il materiale elettrico di queste macchine deve essere conforme, per i rischi di esplosione, alle vigenti direttive specifiche"

In definitiva, *il costruttore della macchina deve sempre effettuare una valutazione dei rischi connessi con l'utilizzo della macchina.*

Per gli ambiti a rischio d'incendio e/o esplosione di miscele infiammabili, la valutazione dei rischi specifici deve essere accorpata nella gestione generale secondo quanto stabilito dal D.Lgs.626/94 ([9]), e va in particolare effettuata in conformità alla norma **EN 1127-1/97** ([10]): ***i concetti ivi richiamati sono difatti omogenei con quanto previsto dalla direttiva 1999/92/CE (ATEX 118 A), come sopra detto in fase di recepimento.***

In particolare, nell'allegato 6 "*linee guida per la valutazione*" sono compresi i seguenti elementi:

<u>a. Identificazione del pericolo (art. 4)</u>

La valutazione non può prescindere dalle caratteristiche dei materiali coinvolti, in particolare:

a.1 *Proprietà combustibili*, temperatura di esplodibilità, limiti della concentrazione esplosiva, concentrazione limite di ossigeno;

a.2 i requisiti per l'accensione, energia minima di accensione, temperatura minima di accensione dell'atmosfera esplosiva e dello strato di polvere;

---

9 Titolo 1 capo 1, art.3, misure generali di tutela. Nella *direttiva 1999/92/CE (ATEX 118 A),* coerentemente con quanto all'art.6, par.2 della Direttiva 89/391, sono posti in carico al Datore di lavoro i seguenti obblighi:

- prevenire la formazione di atmosfere esplosive;
- evitare l'ignizione di atmosfere;
- attenuare i danni derivanti da una esplosione;
- tali misure vanno integrate o coordinate con altre contro la propagazione delle esplosioni;
- l'analisi va tenuta aggiornata.

10 standard elaborato dal gruppo CEN/TC 114 "Safety of machinery", in cui peraltro è previsto quanto segue: *"This standard may also serve as a guide for users of equipment, protective systems and components when assessing the risk of explosion in the workplace and selecting the appropriate equipment, protective systems and components"*.

a.3 il *comportamento all'esplosione*, pressione massima di esplosione; velocità massima di aumento della pressione di esplosione; interstizio sperimentale massimo di sicurezza.

b. Valutazione del rischio (art. 5)

L'articolo 5.1 detta poi le linee guida generali per la valutazione e riduzione del rischio, che deve tener conto di:

b.1 pericolo di accensione ed esplosione derivante da apparecchi, sistemi di protezione e componenti stessi;

b.2 interazione tra gli apparecchi, i sistemi di protezione, i componenti e le sostanze trattate;

b.3 il processo industriale specifico realizzato negli apparecchi, sistemi di protezione e componenti;

b.4 le interazioni dei singoli processi in diverse parti degli apparecchi, sistemi di protezione e componenti;

b.5 si deve porre particolare attenzione per gli apparecchi e i componenti complessi, per gli impianti che comprendono unità particolari e, soprattutto, per gli impianti estesi;

b.6 l'ambiente circostante gli apparecchi, sistemi di protezione e componenti e la possibile interazione con processi vicini.

c. Determinazione della probabilità che si verifichi l'atmosfera esplosiva e quantità implicata (art. 5.2.)

La formazione di un'atmosfera esplosiva dipende dai seguenti fattori:

c.1 la presenza di una sostanza a rischio di esplosione;

c.2 il grado di dispersione della sostanza a rischio di esplosione;

c.3 la concentrazione della sostanza a rischio di esplosione nell'aria all'interno del campo di esplosione (i limiti di esplosione per le polveri non hanno lo stesso significato di quelli per i gas e i vapori. Le nubi di polveri sono solitamente non omogenee. La concentrazione di polveri può variare sensibilmente per effetto della formazione di depositi di polveri e della loro dispersione in atmosfera. Occorre sempre considerare la possibile formazione di atmosfere esplosive in presenza di depositi di polvere combustibile);

c.4 la quantità di atmosfera esplosiva sufficiente per produrre lesioni o danni per accensione.

d *Determinazione della presenza e probabilità di sorgenti di innesco in grado di accendere l'atmosfera esplosiva (art. 5.3):*

d.1 deve essere valutata la capacità che una sorgente di innesco ha di accendere l'atmosfera esplosiva, confrontandola con le caratteristiche della sostanza considerata;

d.2 deve essere valutata la probabilità di sussistenza di sorgenti di innesco tenendo conto di quelle che possono comparire ad es. durante le operazioni di manutenzione e pulizia;

d.3 le sorgenti di innesco devono essere classificate in considerazione della loro probabilità di esistenza;

d.4 esempi di possibili sorgenti di innesco sono:

1) superfici calde (art. 5.3.2);
2) fiamme gas caldi, incluse particelle calde (art. 5.3.3.);
3) scintille di origine meccanica (art. 5.3.4);
4) inneschi di origine elettrica (art. 5.3.5);
5) correnti elettriche vaganti, protezione catodica contro la corrosione (art. 5.3.6);
6) elettricità statica (art. 5.3.7);
7) fulminazione (art. 5.3.8)
8) induzione elettromagnetica (artt. 5.3.9, 5.3.10. e 5.3.11);
9) ultrasuoni (art. 5.3.12)
10) compressione adiabatica e onda d'urto (art.5.313);
11) reazioni esotermiche (art. 5.3.14).

e *Determinazione dei possibili effetti di un'esplosione (art. 5.4):*

e.1 la concatenazione di eventi, a partire dalle cause iniziatrici prevedibili, che può portare all'esplosione o a eventi intermedi possibili, nel caso intervengano completamente o solo parzialmente i mezzi protettivi e i dispositivi di blocco previsti,

e.2 l'entità del fenomeno esplosivo e degli eventi intermedi possibili,

e.3 le aree coinvolte sia durante l'esplosione, sia durante gli eventi intermedi possibili.

Per determinare le misure necessarie al fine di evitare l'accensione delle miscele a rischio di esplosione, i luoghi pericolosi vengono classificati in "zone" sulla base della frequenza e della durata di un'atmosfera esplosiva pericolosa (EN 60079-10, EN1127-1, CEI 64-2).

Nel caso di luoghi pericolosi per la presenza di polveri (luoghi di classe 2) si distinguono le seguenti zone:

Zona 20:	Luogo in cui è presente con continuità o per lunghi periodi o frequentemente l'atmosfera esplosiva sotto forma di nube di polvere combustibile e aria (ad esempio l'interno di serbatoi, tubazioni, recipienti).
Zona 21:	Luogo in cui è probabile che si presenti, occasionalmente, durante il normale funzionamento un'atmosfera esplosiva sotto forma di nube di polvere combustibile e aria (ad esempio i luoghi in corrispondenza dei punti di caricamento o svuotamento).
Zona 22:	Luogo in cui è improbabile che si presenti, durante il normale funzionamento, un'atmosfera esplosiva sotto forma di nube di polvere combustibile e aria, ma che, qualora dovesse presentarsi, persisterà solo per un breve periodo (ad esempio i luoghi in corrispondenza di punti ove si possono verificare fuoriuscite di polveri a causa di perdite dai sistemi di contenimento).

Le *misure di protezione da adottare* dipendono dalla probabilità di comparsa di un'atmosfera esplosiva e dalle conseguenze di una possibile esplosione. Ciò si valuta assegnando agli apparecchi una categoria, come indicato dalla citata Direttiva 94/9/CE (direttiva Atex):

La *categoria 1*	comprende apparecchi progettati per poter operare in conformità ai parametri operativi stabiliti dal costruttore ed in grado di assicurare un livello di protezione molto alto. Gli apparecchi di questa categoria sono destinati ad essere utilizzati in luoghi in cui sono presenti continuativamente, per lunghi periodi o frequentemente atmosfere esplosive. Gli apparecchi di questa categoria devono assicurare il livello di protezione richiesto anche in caso di rari incidenti all'apparecchio e sono caratterizzati da mezzi di protezione tali per cui: · in caso di guasto di una misura di protezione, almeno una seconda misura indipendente assicuri il livello di protezione richiesto; · oppure il livello di protezione richiesto sia assicurato in caso di due guasti indipendenti l'uno dall'altro.

La <u>*categoria* 2</u>	comprende apparecchi progettati per poter operare in conformità ai parametri operativi stabiliti dal costruttore ed in grado di assicurare un livello di protezione alto. Gli apparecchi di questa categoria sono destinati ad essere utilizzati in luoghi in cui è probabile che si presentino atmosfere esplosive. Le misure di protezione riguardanti gli apparecchi di questa categoria assicurano il livello di protezione richiesto anche in caso di disturbi frequenti o di guasti all'apparecchio di cui normalmente si deve tenere conto.
La <u>*categoria* 3</u>	comprende apparecchi progettati per poter operare in conformità ai parametri operativi stabiliti dal costruttore ed in grado di assicurare un livello di protezione normale. Gli apparecchi di questa categoria sono destinati ad essere utilizzati in luoghi in cui è improbabile che si presentino atmosfere esplosive, oppure, qualora si presentino, ciò si verificherà solo raramente e per un breve periodo.

IN PARTICOLARE, NEL CASO DI ATMOSFERE ESPLOSIVE CAUSATE DA MISCELE POLVERE-ARIA gli apparecchi devono rispondere ai seguenti requisiti:

categoria 3	Si devono evitare le sorgenti di accensione che possono presentarsi continuativamente o frequentemente (per es. durante il normale funzionamento degli apparecchi, sistemi di protezione e componenti). Ciò vale per l'accensione sia di uno strato di polvere sia di una nube di polvere e comprende anche la limitazione delle temperature superficiali per impedire l'accensione delle polveri depositatesi.
categoria 2	Oltre ad evitare le sorgenti di accensione specificate per la categoria 3, si devono evitare anche le sorgenti di accensione che possono presentarsi in situazioni rare (per es. a causa di anomalie di funzionamento degli apparecchi, sistemi di protezione e componenti). Ciò vale per l'accensione sia di uno strato di polvere che di una nube di polvere.
categoria 1	Oltre ad evitare le sorgenti di accensione specificate per la categoria 2, si devono evitare anche le sorgenti di accensione che possono presentarsi soltanto in sistemi di protezione e componenti.

Tutto quanto precede deve ovviamente essere stato adeguatamente considerato tanto in fase di acquisizione macchine ed attrezzature (che debbono recare le attestazioni di conformità e adeguatezza all'impiego nella specifica applicazione), quanto in fase di installazione, uso e manutenzione (fatto sostanzialmente a carico del datore di lavoro).

5.2 Analisi di struttura e ubicazione delle aziende

L'area considerata è una porzione della provincia del Verbano Cusio Ossola, situata a Nord - Ovest del Piemonte, tra la sponda occidentale del Lago Maggiore e l'estremità settentrionale del Lago d'Orta.

Come tradizionalmente avviene da decenni, nell'area è diffusa la piccola impresa metalmeccanica anche a conduzione familiare, e la zona rappresenta un bacino di riferimento importantissimo per i produttori di manufatti di alluminio, che da sempre vi hanno trovato le capacità necessarie ad effettuare le operazioni di finitura superficiale.

Anche a causa della semplicità delle operazioni, l'attività è stata ed è tuttora condotta, in taluni casi, in forma del tutto artigianale, talora anche in ambienti di fortuna attrezzati alla meglio con mole rotative. Alcune imprese sono cresciute nel tempo fino a raggiungere dimensioni non trascurabili, ma mantenendo sostanzialmente l'impostazione e l'approccio artigianale originari.

In Tabella 8 è proposto un quadro riassuntivo della situazione industriale nell'area interessata alla lavorazione di manufatti in alluminio e leghe.

Tabella 8: Quadro riassuntivo delle realtà produttive dell'area, per quanto concerne la finitura di manufatti d'alluminio	
Numero di aziende	27
Numero di occupati	200 ÷ 220
Occupati per azienda	8 in media
Consumo energetico	5 kW/lavoratore
Leghe trattate	Leghe a base Al per fusione in conchiglia o pressofusione
Polvere prodotta	540 kg/giorno

Le lavorazioni effettuate nelle aziende in questione possono essere così caratterizzate:

- 10% produzione di articoli casalinghi quali pentole e barattoli;
- 10% produzione di articoli quali pedivelle e particolari auto;
- 80% produzione di caffettiere che rappresentano quindi di gran lunga la quota maggioritaria nella lavorazione di particolari di alluminio.

Dall'esame dei dati compendiati in tabella, appare evidente la ridotta dimensione delle imprese in questione, tanto in termini di numero di lavoratori quanto di estensione superficiale. Inoltre:

- lo staff tecnico è generalmente ridotto, se non addirittura inesistente: i proprietari sono coloro che si occupano dell'organizzazione aziendale, comprendente la prevenzione, la gestione e il controllo di tutti gli aspetti concernenti le aree tematiche e operative coinvolte. L'attenzione rivolta allo studio dei rischi industriali e di quanto riguardante la salute e la sicurezza dei lavoratori in generale è quindi spesso limitata;
- le piccole dimensioni consentono di collocare le attività anche in prossimità di edifici residenziali.

Il secondo punto diventa motivo di apprensione se si considera la collocazione delle 27 aziende di cui alla Tabella 8 nel contesto territoriale; si rilevano infatti:

17	unità produttive in aree industriali e artigianali
6	unità in aree artigianali/residenziali
3	unità in aree artigianali /commerciali
1	unità in area residenziale

Si può sottolineare come la presenza di realtà produttiva e residenziale sullo stesso territorio risulti evidente in almeno 7 casi, ma occorre ricordare che le cosiddette aree industriali o artigianali molto frequentemente accolgono edifici residenziali sparsi, quali ad esempio l'abitazione del custode o dello stesso proprietario.

In fotografia è illustrata la veduta aerea del distretto industriale: la concentrazione maggiore si ha nella zona industriale di Gravellona / Verbania che comprende due aree di affollamento (segnalate sulla fotografia) con un totale di undici aziende. I rimanenti stabilimenti si trovano invece sparsi sul territorio.

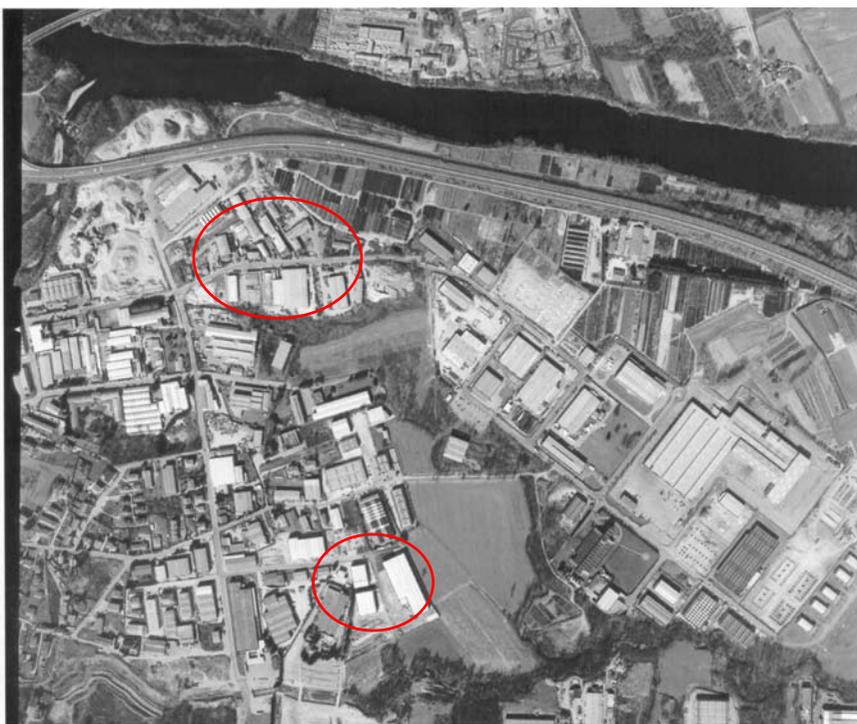



Fig. 29 Veduta aerea del distretto industriale di Gravellona/Verbania

5.3 Analisi dei rischi specifici per la lavorazione dell'alluminio

Per ridurre il rischio è pertanto necessario adottare misure di prevenzione e protezione in modo da prevenire la formazione di atmosfere esplosive, evitare l'ignizione delle stesse a seguito di una loro eventuale formazione e, nel caso di fallimento delle precedenti misure, attenuare i danni dell'esplosione.

In altre parole, è necessario adottare soluzioni volte ad impedire che si vengano a creare condizioni la cui concomitanza determinerebbe l'evento indesiderato. Dando per scontato che non sia evitabile od ulteriormente limitabile una data quantità di polvere combustibile ed aerodispersa nell'ambiente, e che sia presente del comburente, si considerino le seguenti condizioni:

- *presenza di polvere combustibile aerodispersa nell'ambiente;*
- *concentrazione della sospensione di polvere compresa entro l'intervallo di esplodibilità;*
- *sorgente di innesco con energia sufficiente per attivare la reazione.*

La probabilità di accadimento dell'esplosione è il prodotto delle diverse probabilità per ciascuna di queste condizioni; pertanto, affinché avvenga l'esplosione, esse devono verificarsi tutte contemporaneamente:

$$Pr(expl) = Pr(d)\, Pr(f)\, Pr(i)$$ dove

d = dispersione
f = infiammabilità
i = innesco

La probabilità dell'esistenza del volume infiammabile, *Pr(f)*, è semplicemente quantificabile per gas o polveri come una frazione del tempo in cui il sistema esiste nelle condizioni di infiammabilità. *Pr(d)* e *Pr(f)* non sono indipendenti, perché la dispersione ha effetto sulla concentrazione di polvere dispersa.

Partendo dal presupposto che le attività lavorative in gioco non permettono di operare in atmosfere inerti, di seguito saranno prese in considerazione le misure di prevenzione da attuare per ridurre al minimo la possibilità che si presentino le due condizioni rimanenti. Macchine, apparecchiature e impianti destinati alla gestione del "problema alluminio" devono rispondere a specifici requisiti.

Tabella 9: Esempi di misure di prevenzione specifiche perché la concentrazione della sospensione di polvere di alluminio non sia compresa entro l'intervallo di infiammabilità
Combustibile
Pulizia radicale dei luoghi di lavoro, condotta con attrezzature antiscintilla e nel rispetto di procedure[11].
Evitare la pulizia con aria compressa (nel caso questa sia assolutamente necessario, occorre comunque dimostrare che ciò comporta un'effettiva riduzione dei rischi e mantenere le macchine spente).
Dotare tutte le macchine di almeno un dispositivo di cattura della polvere per ogni lavorazione.
Adottare impianti di aspirazione progettati e gestiti in modo da avere un'adeguata velocità di aspirazione e cattura, per consentire la cattura di tutta la polvere prodotta.
Nella scelta della dislocazione delle macchine rispettare il principio della riduzione al minimo dello sviluppo e delle variazioni in direzione e sezione delle tubazioni dell'impianto di aspirazione.
Le pareti interne dei condotti di aspirazione devono essere lisce e a giunti sovrapposti montati controvento per evitare accumuli.
Evitare la presenza di condotti ciechi e di tratti di condotto anche temporaneamente inutilizzati.
Pulizia dei condotti di aspirazione e nell'impianto in generale.
Le giunzioni dei condotti di aspirazione devono essere orientate in modo tale che, in caso di apertura violenta, i tratti di condotto siano proiettati lontano dal personale.
Pulizia del camino di scarico dell'aria depurata.
Evitare la compresenza di più tipi di polvere.
Miscelazione delle polveri di alluminio con polveri inerti perché la loro concentrazione sia mantenuta al di sotto del L_i.
Garantire l'assenza di accumulo di polvere in altre parti del separatore oltre che negli appositi contenitori di raccolta.
Divieto di introdurre il materiale raccolto nelle fasi di pulizia all'interno dei collettori d'aspirazione.

[11] Va comunque ricordato che tutto deve essere conforme agli adempimenti normativi, a prescindere dalla presenza di polvere di alluminio

Sorgente di innesco
Evitare che corpi estranei (metallici o di altro materiale potenzialmente scintillante) entrino nelle bocchette di aspirazione.
Evitare che corpi estranei entrino in contatto con i nastri abrasivi in movimento.
Adottare impianti e apparecchiature a norma specifica per ambienti a rischio di esplosione.
Impianti elettrici a norma (es. tutte le parti delle apparecchiature devono essere collegate e messe a terra per prevenire l'accumulo dell'elettricità statica).
Prevedere procedure di blocco e segnalazione per la disalimentazione delle macchine.
Tutte le sorgenti di accensione nelle zone di possibile esistenza di un’atmosfera esplosiva devono essere eliminate, come pure tutte le sorgenti di calore. Per esempio, eventuali lavori di saldatura e montaggio che richiedono l’uso di impianti di saldatura ed attrezzi a fiamma o incandescenti vanno svolti in posti appositamente attrezzati.
I condotti di aspirazione devono essere realizzati in materiale conduttivo.
Nel caso di separatori a secco, i teli filtranti del separatore devono essere in materiale conduttivo.
Realizzare il separatore in materiale antistatico.
I contenitori di raccolta della polvere devono essere antistatici e definiti nel modello e nelle caratteristiche in modo univoco nel documento aziendale. L’obbligo di uso esclusivo di tali materiali fa parte della informazione ai lavoratori.

Nonostante si applichino le misure di prevenzione per ridurre la probabilità di esplosioni, è ugualmente necessario applicare le appropriate misure di protezione, perché in alcune operazioni è impossibile escludere l'eventualità di un'esplosione. Per proteggersi e limitare i danni causati dalle esplosioni da polveri, si possono usare vari metodi e in alcuni casi più di uno contemporaneamente.

I principali sistemi di protezione sono:

- *il contenimento dell'esplosione;*
- *la separazione degli impianti;*
- *la soppressione dell'esplosione;*
- *lo sfogo dell'esplosione.*

Ricordate le definizioni seguenti:

Pericolo: situazione che racchiude potenzialità di generare eventi dannosi (pericolosità = proprietà o qualità intrinseca di una determinata entità -per esempio materiali o attrezzature, metodi e pratiche di lavoro- avente il potenziale di causare danni).
Danno probabile M: prodotto di due fattori, il primo (pd) esprimente la entità del possibile danno (morte, lesioni, ecc, ...), il secondo (fc) la possibilità di interferenza (o fattore di contatto), funzione della durata percentuale dell'esposizione a situazioni od operazioni potenzialmente pericolose riferita ad esempio alla dirata dell'intero ciclo di lavorazione.
Probabilità di accadimento F: probabilità che l'evento scatenante si verifichi.
Rischio: dimensione prevedibile delle conseguenza di un evento dannoso, espressa dal prodotto: *danno probabile derivante dall'evento [M]*   ×   *probabilità di accadimento dell'evento [F]*

L'analisi di rischio sui luoghi di lavoro può in molti casi, una volta messe a punto le soluzioni previste per le situazioni di emergenza (quali incendio o necessità di attuare il pronto soccorso), essere intrapresa con approccio semplificato *([12])*.

Ciò in particolare vale per le situazioni in cui siano disponibili norme tecniche sulla sicurezza aggiornate rispetto al progresso delle conoscenze e della tecnica. Eseguire un'opera osservando norme e regole *aggiornate*

[12] secondo il documento curato dal GAH (Gruppo Ad Hoc appositamente istituito in sede comunitaria, con il mandato di fornire un parere sulle raccomandazioni proposte dalla Commissione europea in materia valutazione dei rischi sul lavoro ai fini della preparazione delle valutazioni dei rischi sul posto di lavoro da parte dei governi e delle parti sociali, conformemente alla direttiva 89/391/CE): "Valutazione dei Rischi sul Posto di Lavoro" *Progetto di Parere: Doc. 5196/94PA* del 5/7/94, licenziato per la pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale delle Comunità sotto forma di Comunicazione agli stati membri

garantisce infatti ovviamente un alto grado di sicurezza, anche se non la sicurezza assoluta ([13]).

I principi informatori di una corretta analisi e gestione del rischio, finalizzata al miglioramento delle condizioni di sicurezza nei luoghi di lavoro([14]), possono essere compendiati secondo quanto segue:

a. la situazione va analizzata con riferimento alla *probabilità relativa* di accadimento dell'evento dannoso in condizioni di rispetto delle norme tecniche, esprimibile come:

$$\frac{\textit{probabilità di accadimento eventi}}{\textit{probabilità minima di accadimento}} = 1$$

Ne nasce infatti la formulazione seguente:

Tabella 10: analisi finalizzata al miglioramento delle condizioni di sicurezza

danno derivante dall'evento una volta minimizzata con criteri organizzativi la probabilità che esso si verifichi ⇓	**probabilità relativa di accadimento dell'evento = 1** ⇓
lieve	
grave	
gravissimo	

che si presenta libera da valutazioni soggettive, efficace (il metodo prevede che si dia luogo alla eliminazione dei pericoli sin dalla prima

[13] che, difatti, sempre secondo quanto detto al Art. 3 punto 1 comma b del D. Lgs. 626, si ottiene solo per mezzo dell'adozione, ove possibile, di tecnologie alternative

[14] secondo quanto a suo tempo sviluppato in "L. Faina; D. Savoca; M. Patrucco: *Linee guida per la valutazione dei rischi per la sicurezza e la salute dei lavoratori nel settore estrattivo ai sensi dell'art.4 comma 1 del decreto legislativo n.626/94*, Min. Industria, Commercio ed Artigianato - Direz. Gen. Miniere; Politecnico di Torino, Dip. Georisorse / C.N.R. Centro Studi Fisica Rocce e Geotecnologie; Regione Piemonte - Serv. Polizia Mineraria, Centro Stampa Regione Piemonte, Torino, maggio 1996, attualmente proposta italiana del Ministero Industria, Commercio ed Artigianato presentata alla Comunità Europea in occasione del Workshop on Risk Assessment, European Commission Safety and Health Commission for the Mining and Other Extractive Industries (S.H.C.M.O.E.I.) Gubbio, 20-23 giugno 1996.

fase di analisi, nel rispetto della imprescindibile necessità dimostrare di aver dato luogo all'adeguamento rispetto alle conoscenze tecniche aggiornate), consente di stabilire una motivata gerarchia di intervento e garantisce una corretta valutazione della entità delle possibili conseguenze degli eventi dannosi, in quanto in una situazione nel suo insieme sicuramente a norma non possono aver luogo aggravamenti dovuti ad altre carenze (ad esempio derivanti da inadeguata impostazione della gestione delle situazioni di emergenza);

b. la valutazione del rischio va intesa come un processo dinamico, e quindi, una volta definito il livello di sicurezza desiderato – ovviamente in coerenza con il progresso delle conoscenze e della tecnica- la gestione della sicurezza è fatto di:

   - *mantenimento;*
   - *aggiornamento tecnologico.*

c. ovviamente, al fine di garantire un effettivo mantenimento delle condizioni di sicurezza, è indispensabile minimizzare tanto la frequenza quanto la gravità delle conseguenze derivanti da eventuali situazioni di guasto. Nel caso di attrezzature e impianti destinati a gestire situazioni caratterizzate da rischio di esplosione, ciò comporta che la relativa progettazione sia fondata su opportune tecniche di sovradimensionamento e ridondanza, considerando in particolare i “percorsi” critici che possono portare all’evento indesiderato (nel nostro caso, ovviamente, l’esplosione di polveri), e le probabilità di accadimento degli eventi determinanti: a tal fine sono utilizzabili varie tra le tecniche di Hazard Evaluation di cui oggi si può disporre. In ogni caso, come in generale nell’analisi di rischio, è essenziale pervenire ad una determinazione unica del rischio, da compararsi con il valore minimo di rischio ottenibile in corrispondenza di dette tecniche.

5.3.1 Lavorazioni

Le lavorazioni effettuate consistono nella smerigliatura e in altre operazioni di finitura superficiale finalizzate a conseguire la lucidatura delle superfici dei manufatti metallici e l'eliminazione delle sbavature residuate dai processi di fusione.

Le lavorazioni sono essenzialmente di due tipi:

1. *lavorazioni parzialmente automatizzate*: l'operatore interviene solo nella fase iniziale, posizionando il pezzo da lavorare di fronte all'elemento abrasivo, su appositi sostegni, e nella fase finale, prelevando il pezzo lavorato. La macchina è in grado di far ruotare il pezzo, orientando ogni sua porzione verso l'elemento abrasivo, in modo tale che tutta la superficie sia sottoposta al trattamento;
2. *lavorazioni manuali*: operazioni di finitura superficiale, come la molatura.

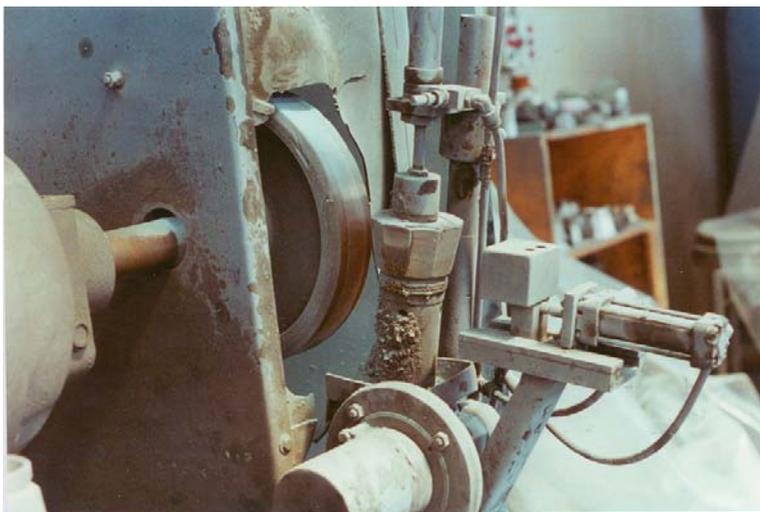



Fig.30 Lavorazione parzialmente automatizzata

Fig 31 Lavorazione manuale

In genere, il materiale lavorato è costituito da una lega di alluminio, ma in alcuni casi si smerigliano pentole in alluminio con fondo in acciaio.

In questo secondo caso occorreranno, a causa della compresenza, già specificata come critica, di polveri aerodisperse di diversa natura, maggiori precauzioni per la sicurezza del sistema di separazione che dovrebbe essere dedicato al solo alluminio o leghe.

5.3.2 Attrezzature (macchine) e impianti per la produzione

Le lavorazioni indagate avvengono con diversi sistemi di levigatura e spazzolatura:

- nastro a corindone grosso, medio o fine (grana 180 per la sgrossatura iniziale e 400 per la lucidatura);
- disco lamellare: tale operazione è generalmente unica e non prevede passaggi in macchine differenti ad eccezione della smerigliatura di caldaie a facce con la superficie non unicamente sfaccettata (ad esempio bombata con sfaccettature dei bordi del fondo);
- spazzole rotanti in fili di acciaio di dimensioni circa pari a 300·100 mm.

Fig. 32 Macchina a nastro

Fig.33 Mola circolare a lamelle

5.3.3 Natura delle polveri generate

5.3.3.1 Campionamento

Al fine di valutare le caratteristiche granulometriche delle polveri originate dalla lavorazione in oggetto, si è provveduto al campionamento delle particelle provenienti dalla spazzolatura e dalla smerigliatura di caffettiere in alluminio, mediante prelievi di diversa durata (rispettivamente pari a 30, 60, 120, 360 secondi) in prossimità della sorgente della polvere stessa.

La lavorazione in atto durante l'operazione di campionamento consisteva nella spazzolatura di caffettiere di forma cilindrica mediante mole a lamelle disposte radialmente e mediante nastri abrasivi.

Il prelievo delle particelle è stato condotto in due modi differenti:

a) Filtrazione dell'aria su membrane a micropori (luce libera dei pori di 0,8 μm) in esteri misti di cellulosa, aventi diametro pari a 25 mm e un'area utile di filtrazione di 314 mm^2.

Il prelievo delle polveri è stato realizzato con teste portafiltro del tipo "a bocca aperta" (cioè senza preselettore) e portata di aspirazione della pompa utilizzata di 1 dm^3/min.

b) Captazione delle particelle mediante un sistema di raccolta a trappola posizionato in prossimità della bocchetta di aspirazione dell'aria (campionamento "diretto").

5.3.3.2 Analisi ottica

La massa di polvere depositatasi su filtro a membrana è stata determinata mediante pesata su bilancia con sensibilità 0,01 mg, previo condizionamento della membrana in stufa a 100 °C per 2 ore.

La determinazione morfometrica sulla polvere è poi stata effettuata sulle membrane diafanizzate mediante una miscela di dimetilformammide e aldeide cinnamica sia con microscopio ottico in luce polarizzata, sia a contrasto di fase[15]. Gli ingrandimenti utilizzati sono 62,5 – 125 – 250 – 500.

I campioni che hanno portato ai risultati più significativi sono quelli con una minore quantità di polvere depositata sulla membrana in quanto

---

[15] Le osservazioni in *luce polarizzata* sono alla base dello studio delle proprietà ottiche dei cristalli.
L'osservazione con microscopio polarizzatore può essere un utile strumento di analisi qualitativa, in quanto consente la valutazione, semplice e rapida, delle proprietà morfologiche.
La microscopia ottica a *contrasto di fase* è invece adatta allo studio delle sostanze trasparenti; inoltre, dovendo far riferimento a liquidi d'immersione a indice di rifrazione noto, è utilizzabile nello studio delle sostanze particolate, per le quali i preparati per l'osservazione vengono realizzati disperdendo piccole quantità di polvere, appoggiate su vetrino, in liquidi appositi da microscopia.
In questo ambito il contrasto di fase può consentire l'identificazione della natura delle particelle fino a dimensioni di circa 1μm (anche fino a 0,5 μm per le fibre), misura che è 5 ÷ 10 volte più piccola di quella corrispondente al classico polarizzatore.
Va precisato che la determinazione degli indici di rifrazione è in molti casi un criterio diagnostico sufficiente per poter indicare la natura delle particelle. Tuttavia, nell'osservazione microscopica a contrasto di fase, sono visibili contemporaneamente anche altre proprietà quali dimensioni e distribuzioni granulometriche, forma (e connessa sfericità, cubicità, arrotondamento, lamellarità, fibrosità) e struttura (inclusioni sfaldature, stato di aggregazione).

vi risulta più immediata l’individuazione della forma e della dimensione delle particelle.

Di seguito sono riportate a titolo di esempio alcune fotografie di filtri osservati al microscopio ottico.

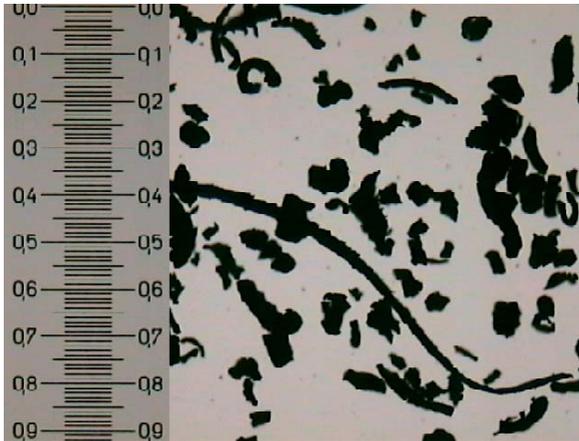



Fig. 34 Campionamento diretto, ingrandimento 125 X, microscopio in luce polarizzata. Mola lamellare

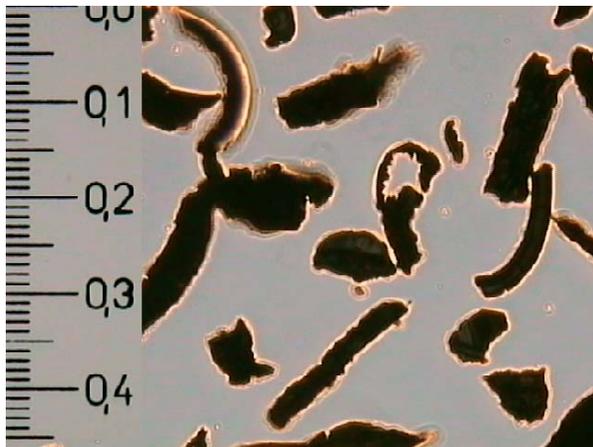



Fig. 35 Campionamento diretto, ingrandimento 250 X, microscopio a contrasto di fase. Mola lamellare

Le fotografie 34 e 35 riproducono il materiale raccolto su membrana e osservato per microscopia ottica in luce polarizzata e a contrasto di fase rispettivamente, a differenti ingrandimenti. Il micrometro riportato in ciascuna immagine permette di valutare la dimensione delle particelle.

È agevole osservare la presenza di *due tipologie di particelle*, rinvenute qualunque fosse il tipo di lavorazione da cui la polvere era originata:

- prevalenti particelle allungate, con la caratteristica forma a coda di maialino le cui dimensioni, sebbene assai variabili, possono essere in prima approssimazione considerate inferiori a 200·20·20 μm;
- subordinate particelle isometriche, più piccole, probabilmente originate almeno in parte dalla frammentazione delle prime, con dimensioni generalmente inferiori ai 5 μm.

5.3.3.3 Prove di esplodibilità

Campioni di materiale originato da molatura a nastro sono stati sottoposti a prove di esplodibilità in tubo di Hartmann per determinare la concentrazione minima esplodibile della polvere pura e in miscela con inerti (calcare, talco). I risultati sono riassunti nella tabella 11.

Tab.11: risultati delle prove di esplodibilità in tubo di Hartmann

Materiale	**Concentrazione minima esplodibile**
Alluminio	150 g/Nm^3
Alluminio/Calcare 1:1	300 g/Nm^3
Alluminio/Calcare 1:2	600 g/Nm^3
Alluminio/Calcare 1:3	∞
Alluminio/Talco 1:1	300 g/Nm^3
Alluminio/Talco 1:2	600 g/Nm^3
Alluminio/Talco 1:3	∞

I valori riscontrati in tubo di Hartmann, in particolare se riferiti alla polvere di alluminio pura, appaiono elevati considerata la dimensione delle particelle osservata nelle foto 34 e 35, forse da ascriversi ad un certo inveccchiamento della polvere ad opera dell'ossigeno atmosferico, occorso prima dell'analisi. Pertanto è in fase di studio una procedura di campionamento alternativa che minimizzi il contatto con aria del solido.

I risultati ottenuti hanno evidenziato il notevole effetto degli inerti solidi impiegati, al punto che miscele alluminio-calcare oppure alluminio talco che contengono il 25% di alluminio non risultano esplodibili.

5.3.4 Impiantistica per la gestione della sicurezza

5.3.4.1 Alimentazione elettrica

Per quanto riguarda la protezione contro le scariche elettrostatiche si può fare riferimento alla Guida CEI R044-001 (1999- 2000) *Sicurezza del macchinario – Guida e raccomandazioni per evitare i pericoli dovuti all'elettricità statica.*

In base alle attuali conoscenze si deve assumere, in generale, che le scariche elettrostatiche siano in grado di innescare le miscele esplosive polvere/aria.

La misura di protezione più comune contro le scariche elettrostatiche consiste nel verificare l'adeguato collegamento a terra delle parti metalliche che potrebbero caricarsi elettrostaticamente. Il rischio di scariche innescanti su oggetti conduttori non messi a terra può essere ignorato se:

1. gli oggetti conduttori non si caricano durante il funzionamento normale della macchina né in caso di malfunzionamento della stessa;
2. l'energia massima che si può immagazzinare sul conduttore è molto inferiore all'energia minima di innesco (MIE) dell'atmosfera esplosiva (ad esempio a causa della bassa capacità dell'oggetto).

Altre tecniche per la prevenzione delle scariche elettrostatiche fanno uso di (vedasi Guida CEI R044-001 art. 7.2.5):

- controllo dell'accumulo di carica;
- riduzione della carica mediante umidificazione;

- riduzione della carica mediante ionizzazione;
- riduzione della carica mediante additivi dissipativi.

L'impiego di cinghie di trasmissione è, in generale, sconsigliato; ove adottate, le cinghie di trasmissione devono avere conducibilità tale da non permettere l'accumulo di cariche elettrostatiche (Guida CEI R044-001 art. 4.5.6).

5.3.4.2 Captazione delle polveri generate dalle lavorazioni

La polvere di cui non si è potuta evitare la formazione deve essere rapidamente rimosso per captazione nelle immediate vicinanze della sorgente, per evitare la dispersione incontrollata. Ciò è ottenuto con impianti di aspirazione dedicati

Rispetto agli impianti di aspirazione industriale correnti, gli impianti per la gestione delle polveri potenzialmente esplosive pongono una serie di esigenze progettuali e gestionali specifiche, tra le quali si citano:

- A livello progettuale occorre garantire:
    - presenza di concentrazioni in ogni punto sempre minori del limite inferiore di esplodibilità (velocità elevate del flusso e deviazioni del flusso ridotte al minimo);
    - assenza di depositi: portate tali da evitare deposizioni ed assenza di singolarità (giunzioni appositamente studiate, ecc.);
    - assenza di sorgenti di innesco: materiali e protezioni adeguate.
- A livello gestionale: rigorosa verifica del mantenimento delle condizioni di cui sopra (segnatamente in termini di velocità di flusso), riprogettazione di qualsiasi modifica.
- A livello procedurale: rigoroso rispetto delle regole stabilite in sede di progetto, esclusione di immissione nell'impianto di concentrazioni massive, ecc..

Tradizionalmente gli impianti di gestione delle polveri vengono ascritti a due differenti tipologie, a seconda della soluzione tecnica utilizzata per la separazione della polvere dall'aria prima della restituzione di quest'ultima all'ambiente esterno:

1. **impianti a secco** in cui la separazione ha normalmente luogo per inerzia (separatore primario per la frazione grossolana) e successivamente per filtrazione (frazione fine).

   In Figura 36 è schematizzato un impianto di questo tipo. Si osservi che l'utilizzo di un ciclone per la fase di separazione primaria presenta evidenti criticità, in quanto vi si verificano fenomeni funzionali di segregazione che danno evidentemente luogo a superamenti localizzati del limite inferiore di esplodibilità.

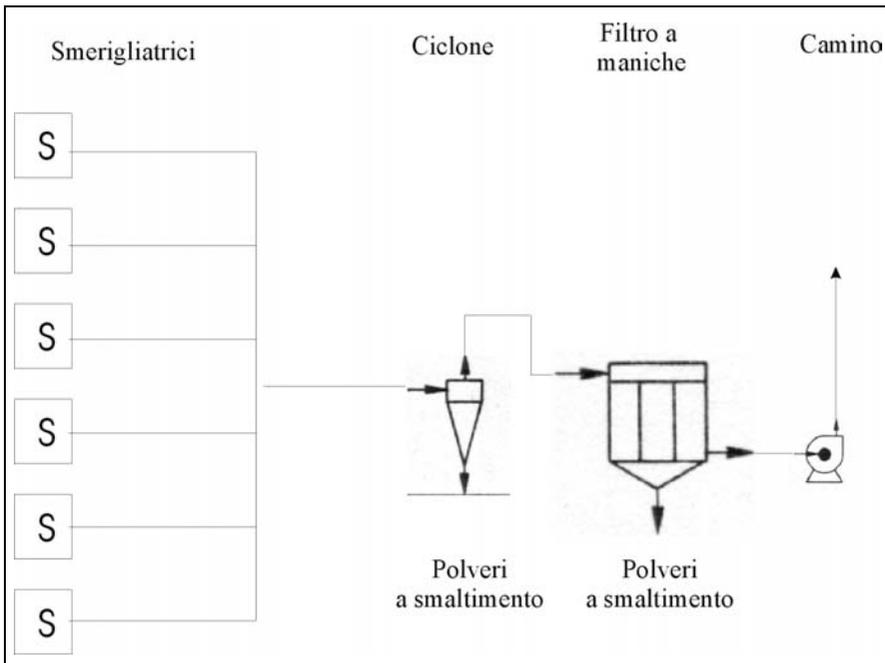
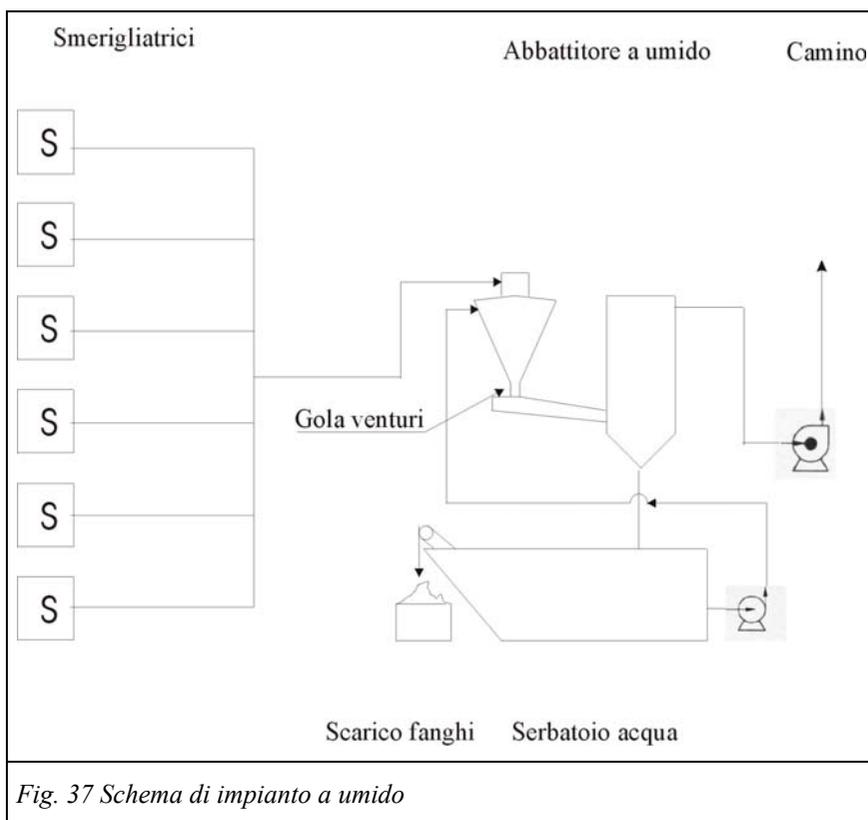



Fig. 36 Schema di un impianto a secco

2. **Impianti a umido:** in questo tipo di impianti il sistema di abbattimento delle polveri è basato su apparecchiature di varia foggia, il cui principio di funzionamento consiste comunque nel miscelare intimamente l'aria e l'acqua dispersa in gocce minutissime. Questo viene generalmente realizzato inviando aria e acqua in un condotto Venturi dove, a seguito della velocità raggiunta (anche svariate decine di m/s), l'acqua è dispersa in gocce che entrano in intimo contatto con le particelle solide. La miscela gas-liquido-solido è generalmente costretta ad impattare ad alta velocità contro una superficie in modo tale che liquido e solido siano separati dalla corrente gassosa. Solitamente un abbattitore di gocce a valle del Venturi completa l'abbattimento delle nebbie ancora trasportate dal gas. L'acqua è utilizzata a ciclo chiuso e contenuta in una vasca di raccolta, che funge anche da collettore dei fanghi abbattuti. Inoltre gli abbattitori sono provvisti dei necessari circuiti di circolazione forzata dell'acqua e di strumenti per la regolazione del livello dell'acqua nella vasca di raccolta, essendo questa una variabile fondamentale per il corretto funzionamento dell'apparecchio.

   Ovviamente in questo caso una criticità è costituita dallo sprigionamento di idrogeno. In Figura 37 è schematizzato un impianto di questo tipo.

Fig. 37 Schema di impianto a umido

Quale che sia la tipologia di impianto adoperato è importante definire la modalità di pulizia e manutenzione perché non si verifichino mai accumuli pericolosi, tanto nei secchi di raccolta polveri, quanto nelle tubazioni. E' quindi necessario anche disporre di un misuratore di portata o pressione.

Per evitare accumuli di polvere occorre:

- mantenere in ordine tutti gli elementi di trasporto, i cicloni, i filtri, ecc.;
- evitare le fughe di polvere dei tubi, dalle coperture, ecc.;
- mantenere sempre puliti i motori dai depositi di polvere;
- evitare scorte di materiale, in sacchi o sciolte tra le macchine.

5.3.5 Servizi (magazzini, depositi, ecc.)

Nei locali adibiti ai servizi, quali magazzini di materie prime e depositi di manufatti lavorati, occorre mantenere ordine e pulizia, oltreché osservare le norme riguardanti la predisposizione di adeguati mezzi antincendio, procedure di emergenza e vie di fuga. Non devono ovviamente essere presenti fonti d'innesco.

Una particolare gestione deve essere prevista per il materiale di risulta dai dispositivi di separazione della polvere captata: esclusa la conservazione di quantitativi significativi di polvere secca (che deve essere tempestivamente inertizzata), lo stoccaggio deve comunque avere luogo in ambienti efficacemente ventilati al fine di evitare la formazione di atmosfere a rischio di esplosione per la presenza di idrogeno.

5.3.6 Personale (attrezzature, formazione e informazione)

Il problema della sicurezza, a maggior ragione nelle lavorazioni di cui si tratta, non può essere affrontato soltanto da un punto di vista strettamente tecnologico, pertanto è necessario formare il fattore umano che gestisce i processi o le lavorazioni ad assumere comportamenti consapevoli e sicuri nei confronti di situazioni che potrebbero verificarsi.

Devono inoltre essere previste procedure formalizzate d'emergenza per incendi od esplosioni; tutto il personale deve essere informato di tali procedure. Devono essere altresì previste ispezioni di sicurezza dell'intero impianto formalizzate ed effettuate ad intervalli regolari.

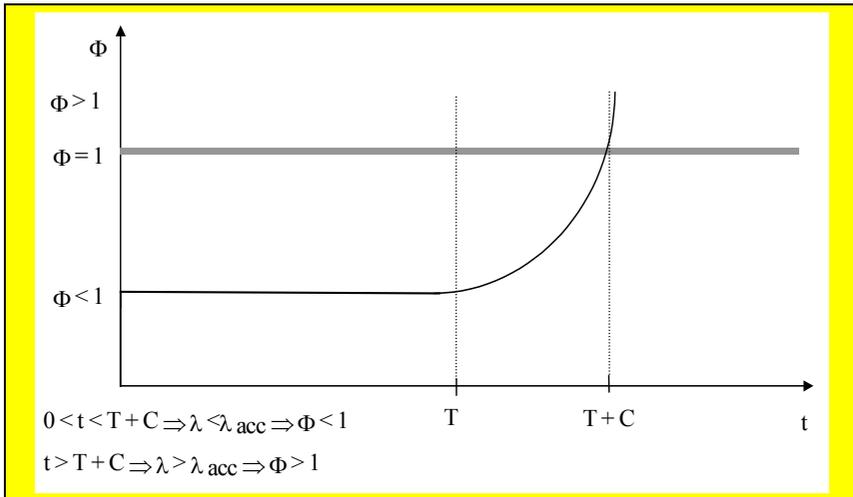
La persona che è incaricata di effettuare l'ispezione deve possedere particolari competenze (corsi di formazione specifica). Durante tale ispezione vanno annotati i rilievi e le raccomandazioni.

6 Principi di conservazione della sicurezza nel tempo

Riferendosi alla evoluzione della sicurezza nel tempo, considerato che la condizione di pericolo consiste in uno scostamento dalla situazione di progetto (di per sé conforme a norme e dettami tecnici *aggiornati*), si può ragionare in termini di gestione dei guasti.

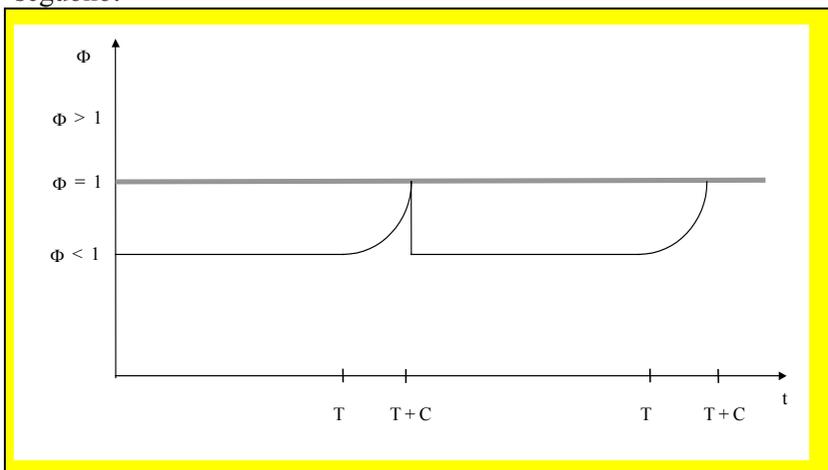
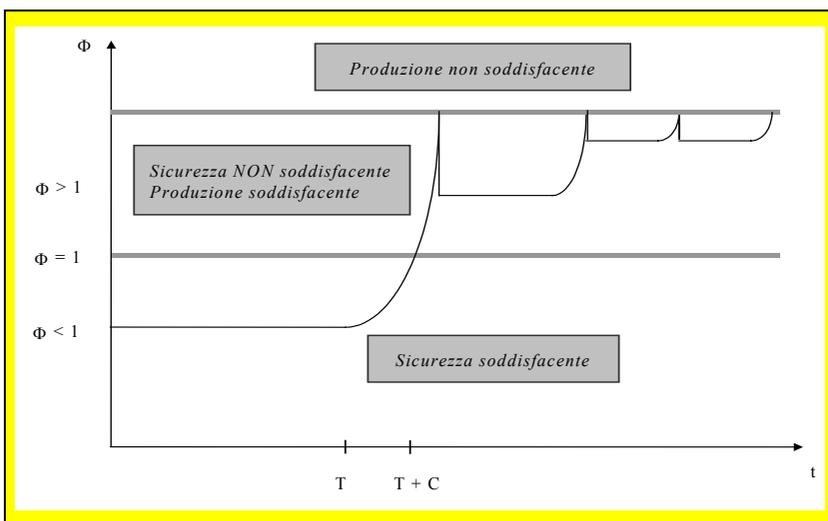
Ricordando quanto precedentemente indicato:

rischio = danno probabile derivante dall'evento (M) × probabilità di accadimento dell'evento (F)
a. *danno probabile* M = prodotto di due fattori, il primo *pd* esprimente l'entità del possibile danno (morte, lesioni, ecc,...), il secondo *fc* la possibilità di interferenza (o fattore di contatto), funzione della durata percentuale dell'esposizione a situazioni od operazioni potenzialmente pericolose (il documento contiene anche indicazioni sulla procedura utilizzabile per l'identificazione degli agenti materiali di pericolo, *in ogni caso ascrivibili a scostamenti dalla situazione di progetto*)
b. *probabilità di accadimento* F = probabilità che l'evento scatenante si verifichi: allo scopo si puo' utilizzare la <u>*probabilità*</u> <u>*relativa*</u> di accadimento Φ -già minimizzata grazie alla conformità alle norme tecniche *aggiornate*, ad una organizzazione resa ottimale ed alla predisposizione di adeguati servizi generali di appoggio- esprimibile come: $\Phi = \frac{\text{probabilità di accadimento eventi (F)}}{\text{probabilità minima di accadimento (F0)}} \leq 1$

Tenuto conto che, in generale, il tasso di guasto (numero di guasti che hanno luogo nell'unità di tempo, indice della "velocità" od "intensità" con la quale l'evento guasto si verifica sul dato elemento) è costante per un certo periodo, dopo di che comincia a crescere, si può schematizzare l'evoluzione della sicurezza con il diagramma che segue:

Dal diagramma si possono trarre le seguenti considerazioni:

a) *importanza della definizione del livello di probabilità di accadimento, in termini di probabilità relativa Φ;* a livello progettuale la scelta va fatta caso per caso, tenuto conto di quanto segue:

	VANTAGGI	SVANTAGGI
Se $\Phi << 1$	*grande margine di intervento alla scadenza del periodo T (C grande)*	*costi di gestione elevati (tanti sistemi di protezione, ridondanza spinta, sistemi di controllo raffinati)*
Se $\Phi \approx 1$	*margine di intervento modesto (C piccola)*	*costi di gestione ridotti*

b) *un nuovo ruolo della manutenzione,* evidenziato nei grafici che seguono:

Situazione corretta: alla scadenza del periodo di buon funzionamento si effettua una manutenzione che riporta il sistema alla situazione iniziale.

Situazione non corretta: si fa funzionare il sistema finché non entra in una situazione di guasto, dopo di che si effettua la manutenzione indispensabile per garantire la produzione. Ogniqualvolta si effettua un intervento di questo tipo, aumenta la probabilità di guasto in condizioni di sicurezza già non soddisfacenti.

b) *in questa ottica vanno riconsiderate anche le politiche manutentive*, le cui possibili opzioni sono compendiate in tabella:

Tabella 12: politiche manutentive			
Politiche di manutenzione	**Vantaggi**	**Svantaggi**	**Livello di sicurezza garantito**
A seguito di guasto	• facilità dell'intervento	• interruzione della produzione; • conseguenze peggiorative per propagazione guasti	• nullo
Preventiva (programmata)	• metodo affidabile; • fermate programmabili	• si sostituiscono componenti ancora funzionanti; • i guasti non possono essere esclusi con certezza	• modesto, a volte accettabile
Secondo condizione	• niente sprechi; • si ha preavviso circa la necessità di fermata; • non si sostituiscono componenti ancora funzionanti.	• altamente specializzata	• alto
Laddove la situazione risulti particolarmente critica dal punto di vista della sicurezza, di norma ci si avvale, in modo combinato, delle tecniche di manutenzione programmata e secondo condizione.			

6.1 Uno strumento moderno: standard OHSAS 18001/99

Tenuto conto delle definizioni fornite dalla norma UNI EN ISO 8402:

- *qualità: insieme delle caratteristiche di un'entità che ne determinano la capacità di soddisfare esigenze espresse ed implicite;*
- *sicurezza: stato in cui il rischio di danno alle persone o alle cose è limitato ad un livello accettabile.*

Il sistema qualità è quindi definibile come insieme delle tecniche e attività volte a tenere sotto controllo un processo e ad eliminare le cause di prestazioni insoddisfacenti: dovendosi necessariamente considerare anche gli utilizzatori interni all'organizzazione -ovvero i lavoratori- appare evidente lo stretto legame qualità / sicurezza.

Riferimenti efficaci sulle tecniche utilizzabili per la conservazione della sicurezza sono costituiti dai Sistemi di Gestione della sicurezza. A questo proposito, ci si riferisce in particolare a:

1. ***BS 8800/1996 "Guide to the occupational health and safety management systems"***, progettata per consentire l'integrazione del sistema di gestione della salute e sicurezza sul lavoro con l'intero sistema di organizzazione aziendale.

   Essa prevede due differenti modalità di approccio -entrambe ovviamente in grado di portare al livello di sicurezza desiderato- basate rispettivamente sui documenti:

   a. *HSE HS(G)65 del 1993 "Successful health and Safety Management" speficamente messo a punto per la gestione delle problematiche di salute e della sicurezza sul lavoro;*

   b. *EN ISO 14001 del 1996 "environmental management systems - specification with guidance for use", per situazioni gia' conformi a ISO 14000.*

2 ***OHSAS (Occupational Health and Safety Assessment Series) 18001***, ultima nata nella famiglia degli standard e delle norme di

riferimento in merito ai contenuti di impostazione e di operatività dei sistemi di gestione della sicurezza.

La Norma OHSAS 18001 è stata pubblicata dal British Standard Institute nel 1999 e costituisce sintesi efficace delle esperienze applicative già maturate e disponibili e una presa d'atto manifestata dal BSI in merito alla crescente richiesta di riconoscibilità esterna delle caratteristiche di completezza e correttezza di sistemi di gestione della sicurezza ben impostati e ben applicati. OHSAS 18001 è stata sviluppata in modo da essere agevolmente compatibile con i sistemi di gestione ISO 9001 (1994, qualità) e ISO 14001 (1996, protezione ambientale), al fine esplicito di facilitare il lavoro di integrazione tra i vari sistemi, per chi lo desideri. Peraltro, a differenza della BS 8800, il BSI è uno standard, quindi ammette certificazioni rispetto ai propri contenuti.

L'***OHSAS 18002 -Guidelines for the implementation of OHSAS 18001-***, costituisce invece un valido strumento in quanto strutturato come linee guida per l'implementazione della OHSAS 18001.

In tale ambito strumentale, gli scopi proposti da OHSAS sono i seguenti:

- stabilire un sistema di gestione dell'igiene e della sicurezza del lavoro al fine di eliminare o minimizzare i rischi per gli addetti e per altre parti interessate che possano essere esposte a tali rischi generati dalla attività;
- realizzare, mantenere e migliorare continuamente il sistema di gestione;
- perseguire e assicurare la conformità e la coerenza con gli impegni stabiliti in Politica della Sicurezza;
- ricercare la possibilità di ottenere certificazione o registrazione del proprio sistema di gestione da parte di una organizzazione esterna, oppure effettuare una auto dichiarazione di conformità con i requisiti OHSAS 18001.

L'applicabilità dei requisiti OHSAS è estesa a qualsivoglia attività in misura corrispondente alla natura delle lavorazioni effettuate, al corrispondente livello di rischio generato, alla complessità delle operazioni condotte e agli impegni sanciti nella Politica della sicurezza.

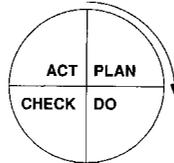
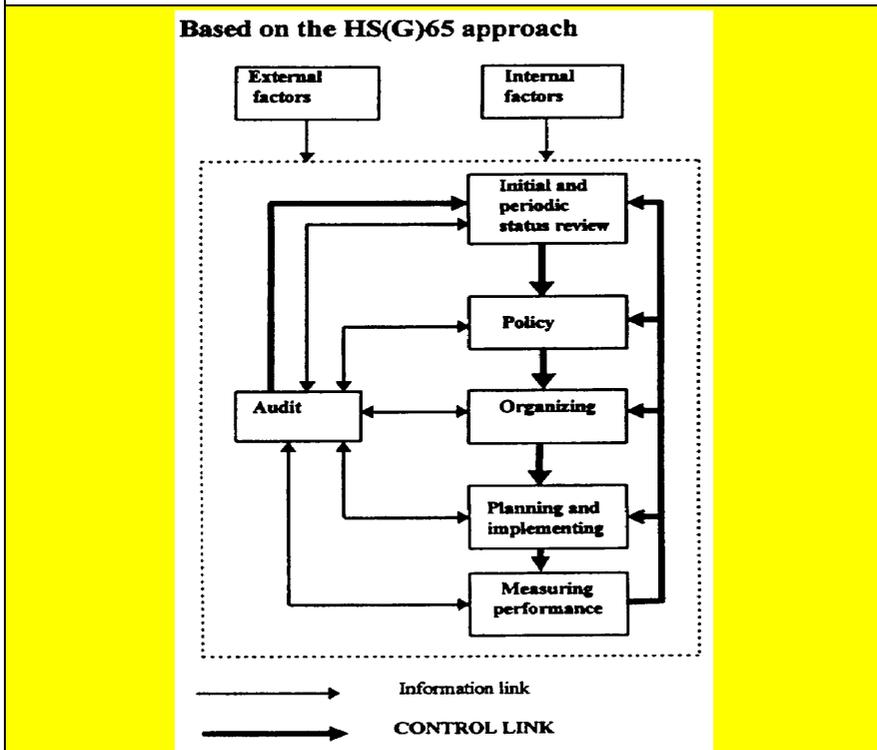
L'obiettivo consiste nel dar luogo ad una gestione secondo Qualità totale (TQM, concetto di qualità non vincolato alle sole specifiche

tecniche del prodotto/servizio fornito, ma esteso a qualsiasi campo dell'organizzazione ([16])).

Per un'azienda basata su un sistema di qualità totale, il termine gestione non significa soltanto programmazione, organizzazione, comando, coordinamento e controllo ma anche e soprattutto *mantenimento e miglioramento*. Va sottolineato che, mentre il livello di raffinatezza adottato per la gestione della qualità ai fini della produzione può essere a discrezione dell'organizzazione, altrettanto non si può dire per la sicurezza. In quest'ottica la gestione deve far sì che le variabili essenziali del processo rimangano entro un certo campo, affinché il processo rispetti i termini di qualità della sicurezza richiesti. Le sorgenti di disturbo tendono a squilibrare il sistema, per cui è necessaria l'azione di un regolatore col compito di riportare il sistema nelle condizioni volute.

In generale la gestione del processo è basata sullo studio degli errori: in termini di sicurezza questo significa non tanto ammettere la possibile esistenza di processi insicuri, quanto cercare di valutare in continuazione il grado di sicurezza dei processi stessi, in modo da riconoscerne i segnali che precedono l'errore. Nello schema che segue sono compendiati gli aspetti essenziali del processo.

[16] E' chiaro come la sicurezza sul lavoro così intesa divenga una componente fondamentale del sistema, da pianificare ed estendere a chiunque all'interno dell'organizzazione, assoggettata a processi di miglioramento continuo, ecc.. Si osservi che in quest'ottica vanno compresi anche i rapporti con fornitori e terzisti.

Lo schema elementare di controllo contiene un sensore di errore, un comparatore in grado di definire quando la variabile essenziale è uscita dal campo di funzionalità, un decisore atto a stabilire quale azione intraprendere per riportare la variabile all'interno del campo di funzionalità e da un effettore operante sul processo per riportarlo alle condizioni volute. Al circuito si può ancora aggiungere una memoria che immagazzini la storia degli errori, in modo da migliorare continuamente il sistema in base alle informazioni raccolte (catena di retroazione o feedback).

In questo senso operano le normative BS 8800 e OHSAS 18001, come evidenziato nello schema riprodotto sotto: il blocco di retroazione fa parte delle "Misura di prestazioni", cui è demandato il compito di regolare il sistema; si enfatizza il coinvolgimento del personale nella catena di retroazione tramite addestramento al controllo della qualità e alle tecniche di miglioramento della stessa, per conseguire il massimo utilizzo delle risorse disponibili.

7 Riferimenti normativi

Si è detto in precedenza della necessità di adeguamento delle situazioni agli standard di buona tecnica aggiornati: dato che al momento non è disponibile una norma tecnica nazionale aggiornata, a seguito di una valutazione su vari documenti reperiti, nel presente lavoro si è tenuto conto di quanto previsto nello standard di buona tecnica *"Standard for the Machining and Finishing of Aluminum and the Production and Handling of Aluminum Powders"* (Standard per la lavorazione e finitura di alluminio e la produzione e movimentazione delle polveri di alluminio), del National Fire Protection Association (NFPA 651).

Tale standard si applica ad aziende in cui è generata polvere di alluminio in scaglie, pasta di alluminio, polvere atomizzata (micronizzata) o granuli di alluminio, o di qualsiasi lega di alluminio la cui polvere sia combustibile o esplodente in atmosfera ambiente.

Lo standard è pertinente anche con operazioni in cui l'alluminio o le leghe di alluminio sono lavorate o rifinite in modo tale da produrre polvere metallica fine o finissima. Queste operazioni comprendono - elenco non esaustivo- operazioni meccaniche, taglio, macinazione, rifinitura e lucidatura (*Rif. 1-1.2*).

E' prescritta un'analisi di rischio con riferimento a quanto stabilito nello standard stesso. In fase di valutazione, occorre chiaramente dimostrare che le eventuali non rispondenze non possono dar luogo a condizioni di rischio superiori a quelle considerate accettabili dallo standard; in questo caso occorre prendere precauzioni che garantiscano con certezza la riduzione del rischio ad un livello equivalente, da esplicitare nella documentazione aziendale di sicurezza (*Riff. 1-1 e 1-4.1*).

Occorre indicare (*Riff. 1-2 e 1-4.1*), con chiarezza ed univocità, nella documentazione aziendale di sicurezza (oltre alla tipologia di lavorazione), la quantità ed il tipo di particelle con cui si ha a che fare in termini di:

- quantità generata da ogni macchina e complessiva (ad es. produzione giornaliera);
- forma;
- dimensione;
- composizione.

Con il termine “polvere di alluminio combustibile” si intende, in tale standard, qualunque materiale alluminoso con dimensioni $\leq$ 420 micron che presenti pericolo di incendio o esplosione quando aerodisperso e acceso.

7.1 Checklist predisposta a cura del CNR-FIRGET nell’ambito dell’incarico conferito dalla ASL 14 VCO

La checklist è stata strutturata al fine di:

- valutare la completezza della documentazione aziendale nei confronti del rischio specifico (colonna 1);
- verificare sul campo l’attuazione di quanto previsto (colonna 2).

Fermo restando che il documento di sicurezza aziendale deve rispondere ai dettami del DLgs.626 e relative integrazioni e modifiche, e l’approccio alla analisi dei rischi per il problema specifico deve rispettare i principi stabiliti nella citata norma EN 1127/97, la lista di controllo proposta è strutturata in modo da rendere possibile un’agevole verifica della rispondenza dell’impianto, delle attrezzature, delle procedure di lavorazione e manutenzione a quanto stabilito dalla norma NFPA [National Fire Protection Association] 651 *Standard for the Machining and Finishing of Aluminum and the Production and Handling of Aluminum Powders* 1998 Edition (scelta come riferimento per l’autorevolezza della fonte e lo stato di aggiornamento, in attesa di un riferimento comunitario o nazionale sulla materia).

Il documento è stato strutturato su 2 colonne principali, che corrispondono rispettivamente a:

- *colonna 1*: questionario elaborato in base al documento citato, finalizzato ad accertare la correttezza ed esaustività della analisi di rischio e l’efficacia delle soluzioni volte alla minimizzazione dello stesso, come risultante dalla documentazione di sicurezza aziendale; Alla colonna 1 sono associate le colonne R1S ed R1N di risposta alle domande di colonna 1;

- *colonna 2:* qualora il risultato di cui a colonna 1 sia soddisfacente ([17]), l'U.P.G. potrà procedere alla verifica diretta sul campo circa la corretta attuazione di quanto previsto dall'analista in materia di gestione e minimizzazione del rischio, segnatamente per quanto concerne la manutenzione di macchine ed attrezzature, ed il rispetto delle procedure operative previste nel documento di sicurezza aziendale. Anche in questo caso, le successive colonne R2S ed R2N consentono di annotare direttamente le valutazione risultanti dalla verifica.

Il documento è completato da una colonna ANNOTAZIONI, nella quale possono essere evidenziate le considerazioni accessorie, segnatamente per quanto concerne la adozioni di eventuali soluzioni di sicurezza di <u>documentata</u> "pari efficacia" *([18])*.

7.2 Criteri di verifica

Di seguito sono fornite le considerazioni messe a punto nell'ambito della collaborazione ASL 14 VCO ed il Centro FIRGET CNR operante presso il Dipartimento Georisorse e Territorio del Politecnico di Torino, allo scopo di rendere disponibile uno strumento ai Tecnici SPRESAL A.S.L. 14 VCO. per la conduzione delle verifiche presso le aziende del territorio di competenza in cui vengano effettuate lavorazioni che portano alla generazione e manipolazioni (<u>non a fini produttivi diretti</u>) di polveri di alluminio e leghe potenzialmente a rischio di incendio ed esplosione, espressamente dedicate e limitate al contenimento dei rischi in questione.

---

[17] diversamente, ad esempio in caso di mancata analisi e riduzione di alcuni rischi, l'accesso diviene del tutto inutile, e potenzialmente pericoloso per l'U.P.G. che può, a nostro avviso, limitarsi a prescrivere il completamento dell'analisi in questione (con o senza fermata della produzione), da cui ovviamente deriverà una corretta gestione dei rischi non adeguatamente considerati.

[18] anche in questa stesura si è volutamente posto particolare accento, nel pieno rispetto della pari efficacia delle soluzioni tecniche più volte ribadito anche nello standard di riferimento, alla esigenza di completezza e formalizzazione della analisi di rischio aziendale, ed alla importanza essenziale ai fini della sicurezza tanto di una corretta progettazione quanto dell'azione di conservazione della sicurezza, ottenibile attraverso puntuale formalizzazione delle procedure tanto operative quanto di controllo e mantenimento.

a. sia per quanto riguarda le macchine, attrezzature ed impianti, che devono essere tutti di tipo riconosciuto idoneo ([19]) alla specifica destinazione d’uso <esplicita dichiarazione del fabbricante>, ed installate, utilizzate e manutenute secondo quanto specificato nella documentazione fornita dal fabbricante stesso. Si precisa altresì che le eventuali parti di consumo vanno anch’esse prese in considerazione nell’analisi, e la scelta del tipo e caratteristiche –ove non espressamente indicate dal fabbricante- vanno motivate ed approvate dall’analista e non possono essere modificate in azienda salva preliminare rianalisi ([20]);

b. sia per quanto in generale previsto con riferimento ai luoghi [e servizi generali] ed alle procedure di lavoro ed operazioni accessorie (manutenzioni, pulizie, ecc), ivi compresi gli aspetti di informazione e formazione del personale che opera in condizioni di routine e del personale cui sono affidati i compiti di gestione delle emergenze.

---

[19] si rammenta che per il riconoscimento della adeguatezza di una macchina od un impianto complesso ai fini della marchiatura CE non è sufficiente la “certificazione” dei vari componenti.

[20] ciò vale ad esempio per i materiali di attrito, quali i nastri abrasivi, le cui condizioni di impiego e tempo di sostituzione devono essere accuratamente analizzati e definiti.

8 Conclusioni

La potenziale pericolosità delle esplosioni di polveri di alluminio aerodisperse è un fatto da tempo noto in letteratura, che ha già provocato pesanti incidenti anche nell'area del Verbano Cusio Ossola in cui, da diversi anni, sono attive aziende che curano le lavorazioni di finitura, smerigliatura e lucidatura di manufatti in alluminio e leghe.

La questione richiede certamente un'analisi di rischio dedicata, che deve inoltre necessariamente tener conto anche delle possibili conseguenze che un'esplosione può indurre nei confronti delle aree finitime, nel caso, talora, notevolmente urbanizzate.

La gestione del problema non può che passare attraverso soluzioni impiantistiche adeguate e un rigoroso rispetto di precise regole comportamentali da parte degli operatori.

I parametri che condizionano la dimensione del rischio sono certamente la quantità e le caratteristiche del materiale in grado di reagire e la presenza di fattori d'innesco: da quanto si è potuto rilevare in base all'accurata analisi gestita dai tecnici dello Spresal ASL 14, tali condizioni di rischio appaiono ipotizzabili indipendentemente dalle dimensioni industriali delle aziende prese in considerazione. Pertanto, mentre certamente sono libere le scelte in materia di tecniche di analisi di rischio, più vincolanti devono necessariamente essere le scelte in materia di gestione dello stesso.

Il documento qui proposto, pur nei suoi limiti, vuol costituire un compendio -di cui ci si è sforzati di curare la comprensibilità, magari a scapito di un assoluto rigore scientifico- sulle attuali conoscenze del problema e sulla sua possibile gestione.

Esso è inoltre integrato con i risultati proposti in appendice conseguiti nella attività di studio e ricerca condotta congiuntamente da parte dell'ASL 14 VCO e CNR FIRGET operante presso il Dipartimento Georisorse e Territorio del Politecnico di Torino, con il prezioso contributo di altri esperti del Politecnico stesso, nel rispetto dell'assioma secondo cui l'analisi e lo studio di gestione della sicurezza è fatto multidisciplinare.

Nel suo insieme quindi il presente opuscolo si vuol proporre come contributo per la impostazione e gestione delle prevenzione delle

esplosioni di polvere di alluminio -generate da lavorazioni di pulitura o finitura di manufatti- ed è completato, a quest'ultimo fine, con un riferimento operativo utilizzabile nell'azione –certamente essenziale- di conservazione e verifica (da parte tanto dei Tecnici aziendali quanto degli Organi di Vigilanza) del grado di sicurezza raggiunto.

9 Bibliografia

- Bérnard, Oxydation des métaux, Paris – Gauthier – Villars, 1982
- Cashdollar, Hertzberg, *Industrial dust explosions*, American Society for Testing Materials, 1998
- A.E.Cote, J.L.Linville, *Fire protection handbook*, National Fire Protection Association, 1978
- Cross, Farrer, *Dust explosions*, Plenum press, 1982
- J.D.Edwards, *Aluminum paint and powder*, New York – Reinhold, 1995
- P.Field, *Handbook of powder technology – Dust explosion*, J.C. Wiiliams, T. Allen Editors, Amsterdam – Oxford – New York, 1982
- A. Ghetti, *Idraulica,* Ed. Libreria Cortina, Padova, 1980
- K.Rolk Eckhoff, *Dust explosion in the process industries*, Butterworld Heinemann, 1977
- S. Whitaker, *Introduction to fluid mechanics*, Ed. Neal R. Amudson
- NFPA 651/1998, *Standard for the Machining and Finishing of Aluminum and the Production and Handling of Aluminum Powders*
- ZH 1/32 April 1990, *Richtlinien zur Vermeidung der Gefahren von Staubbränden und Staubexplosionen beim Schleifen, Bürsten und Polieren von Aluminium und seinen Legierungen*

Principali siti consultabili in rete:

http://www.unepie.org

http://www.dme.wa.gov.au

10 Appendice A

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

CENTRO STUDI PER LA FISICA DELLE ROCCE E LE GEOTECNOLOGIE

c/o Dipartimento di Georisorse e Territorio del Politecnico di Torino

Corso Duca degli Abruzzi 24 - 10129 Torino; Tel.: 011 - 5647618; Fax: 011 - 5647679

ASSESSORATO SANITÀ

DIP.PREVENZIONE SPRESAL

Contratto annuale tra l'Azienda regionale U.S.L. n.14 – V.C.O. - Servizio di prevenzione e sicurezza negli ambienti di lavoro, ed il centro CNR - FIRGET di Torino, per "supporto di ricerca e aggiornamento su temi, di competenza dell'Azienda, concernenti la sicurezza e l'igiene del lavoro".

PROBLEMA: LAVORAZIONI SU ALLUMINIO E LEGHE

RELAZIONE FINALE

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE
CENTRO STUDI PER LA FISICA DELLE ROCCE E LE GEOTECNOLOGIE
c/o Dipartimento di Georisorse e Territorio del Politecnico di Torino
Corso Duca degli Abruzzi 24 - 10129 Torino; Tel.: 011 - 5647618; Fax: 011 - 5647679

ASSESSORATO SANITÀ

DIP.PREVENZIONE SPRESAL

Contratto annuale tra l'Azienda regionale U.S.L. n.14 – V.C.O. - Servizio di prevenzione e sicurezza negli ambienti di lavoro, ed il centro CNR - FIRGET di Torino, per "supporto di ricerca e aggiornamento su temi, di competenza dell'Azienda, concernenti la sicurezza e l'igiene del lavoro".

PROBLEMA: LAVORAZIONI SU ALLUMINIO E LEGHE
RELAZIONE FINALE

PARTE 1: CRITERI GENERALI

per verifiche delle condizioni di sicurezza presso aziende di lavorazione di manufatti in alluminio e sue leghe ai fini della riduzione del rischio di incendio ed esplosione;

PREMESSA

Vengono nel presente documento fornite alcune considerazioni finalizzate a rendere disponibile ai Tecnici SPRESAL A.S.L. 14 V.C.O. uno strumento per la conduzione delle verifiche presso le aziende del territorio di competenza in cui vengano effettuate lavorazioni che portano alla generazione e manipolazioni (non a fini produttivi diretti) di polveri di alluminio e leghe potenzialmente a rischio di incendio ed esplosione, espressamente dedicate e limitate al contenimento dei rischi in questione.

Si ribadisce che la ricerca sistematica sul tema e' tutt'ora in corso, e che il documento qui prodotto:

a. **costituisce capitolo non avulso da un complesso di elaborati la cui prima parte, relativa alla analisi delle caratteristiche delle polveri di alluminio e sue leghe con specifico riferimento ai fenomeni di combustione ed esplosione, titolata *"Esplosioni da polveri di alluminio"* e' gia' stata consegnata *in prima bozza* alla A.S.L. 14 V.C.O., ed e' in corso di aggiornamento;**

b. **va inteso esclusivamente come UNA PRIMA RISPOSTA VOLTA DA UN LATO A CONTRIBUIRE ALLA COMPLETEZZA DELLA ANALISI DI RISCHIO AZIENDALE–STRUMENTO ESSENZIALE DI VALUTAZIONE E PREVENZIONE ([21])- D'ALTRO LATO A SUPPORTO DELL'OPERA DEGLI U.P.G. SPRESAL FINALIZZATA AD IDENTIFICARE AL PIU' PRESTO gli eventuali aspetti macroscopicamente difformi rispetto a standard tecnici aggiornati emanati da autorevoli organismi stranieri. In altri termini gli scriventi ritengono che il rispetto di quanto nel presente documento e nel relativo allegato contenuto sia condizione certamente necessaria, ma non esaustiva ai fini della eliminazione o riduzione al minimo del rischio di incendi od esplosioni che le lavorazioni in questione possono comportare.**

CRITERI GENERALI PER VERIFICHE DELLE CONDIZIONI DI SICUREZZA PRESSO AZIENDE DI LAVORAZIONE DI MANUFATTI IN ALLUMINIO E SUE LEGHE AI FINI DELLA RIDUZIONE DEL RISCHIO DI INCENDIO ED ESPLOSIONE

La analisi delle condizioni di sicurezza va *anzitutto* fondata sulla verifica del rispetto delle prescrizioni generali contenute nei Dlgs 626/94 e successive integrazioni e modifiche e 459/96 e successive integrazioni e modifiche, segnatamente per quanto concerne l'analisi di rischio e relativa eliminazione, o riduzione al minimo, e la gestione del rischio residuo.

CON SPECIFICO RIGUARDO AI RISCHI DI INCENDIO ED ESPLOSIONE **riferimento generale può essere fatto, allo scopo di pervenire ad una analisi corretta *relativa alle macchine ed attrezzature* adoperate in stabilimento, alle considerazioni seguenti:**
Il pericolo di esplosione nelle lavorazioni con presenza di polveri infiammabili od esplodenti è chiaramente indicato fin dal 1955 del DPR 547/55 (art. 331 "Nei luoghi ove vengano eseguite lavorazioni che sviluppino polveri comportanti pericoli di esplosione o incendio, sono ammesse soltanto installazioni elettriche per forza motrice di tipo "antideflagrante" o di tipo stagno chiuso, tali da impedire l'accensione dei miscugli esplosivi (…)")
Le affermazioni di principio del DPR 547/55 trovano la loro esplicitazione dettagliata nelle norme di sicurezza emanate dal CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano), dall'UNI (Ente Nazionale Italiano di Unificazione) e nelle Direttive Europee. In particolare le principali norme di riferimento a tale proposito sono:

- **UNI EN 1050 (1998) *Sicurezza delle macchine – valutazione del rischio* (EN 1050 1996);**

---

[21] **secondo l'approccio proposto in M.Patrucco: Sicurezza ed ambiente di lavoro - vol 1, dicembre 1997, ed Trauben., Torino, ISBN 88-87013-12-8, una per quanto possibile esaustiva individuazione dei pericoli e' fase basilare nella gestione della sicurezza, ed il riferimento –oltre che alle norme nazionali vigenti- a standard tecnici aggiornati costituisce un supporto certamente efficace per il lavoro dell'analista.**

- **CEI EN 60204 (CEI 44-5)** ***Equipaggiamento elettrico delle macchine (aprile 1998) ([22]);***
- **Direttiva 94/9/CE (Atex)**
- **EN 1127-1** ***(August 1997) Explosive atmospheres – Explosion prevention and protection – part 1: Basic concept and methodology.***
- **UNI EN 954-1** ***Sicurezza del macchinario - Parti dei sistemi di comando legate alla sicurezza - Principi generali per la progettazione (dicembre 1998).***
- **Guida CEI R044-001 (1999- 2000)** ***Sicurezza del macchinario – Guida e raccomandazioni per evitare i pericoli dovuti all'elettricità statica ([23])***

Il principio generale indicato dalle suddette norme è la necessità di effettuare un'analisi del rischio di esplosione connesso alla tipologia della lavorazione. La norma UNI EN292-1 indica all'art. 5:

> **Le misure di sicurezza sono una combinazione delle misure adottate in fase di progettazione e di quelle richieste a cura dell'utilizzatore. In ogni caso il progettista deve, nel seguente ordine:**
> **· specificare i limiti della macchina (…);**
> **· individuare i pericoli e valutare i rischi (…)."**

I diversi pericoli che una macchina può produrre sono elencati al cap. 4 della stessa norma ***"per facilitare l'analisi dei pericoli che una macchina può generare".*** **Nell'elenco dei pericoli, al punto 4.8 è indicato:**

> **"I materiali e le sostanze trattate, utilizzate o scaricate dalla macchina, e i materiali di cui la macchina è costituita possono generare pericoli diversi:**
> **(…)**
> **pericoli di incendio e di esplosione;**
> **(…)"**

---

[22] il materiale elettrico per le atmosfere esplosive è inoltre soggetto ai requisiti di cui alle seguenti Direttive Europee: 76/117 CEE, 79/196/CEE, 94/26/CE, 82/130/CEE, 88/35/CEE, 91/269/CEE, nonché alle Norme Europee relative alle atmosfere esplosive, tra cui EN 50014, EN 50015, EN 50016, EN 50017, EN 50018, EN 50019, EN 50020, EN 50021, EN 50028, EN 50039, EN 50050, EN 50053-1, EN 50053-2, EN 50053-3, EN 50054, EN 50055, EN 50056, EN 50057, EN 50058, EN 50059, ove applicabili.
I circuiti di comando devono essere realizzati in conformità alla norma UNI EN 954-1.
Si sottolinea inoltre (v. EN 1127-1) che la realizzazione dei circuiti di comando utilizzando la bassissima tensione (ed es. inferiore a 50 V c.a.) non è una misura destinata alla protezione contro l'esplosione, ma alla protezione contro la folgorazione: ***i circuiti alimentati in bassissima tensione hanno comunque energia sufficiente per accendere le miscele esplosive così come i circuiti in bassa tensione.***

[23] con specifico riferimento al caso in esame in sostanza si puo' affermare che ***in base alle attuali conoscenze si deve assumere, in generale, che le scariche elettrostatiche siano in grado di innescare le miscele esplosive polvere/aria.***
Le misure di protezione contro le scariche elettrostatiche si basano su interventi volti alla limitazione nella formazione delle cariche stesse e nella realizzazione di un adeguato collegamento a terra delle parti metalliche che potrebbero caricarsi elettrostaticamente.
Si ricorda che l'impiego di cinghie di trasmissione è, in generale, sconsigliato; ove adottate, le cinghie di trasmissione devono avere conducibilità sufficiente a non permettere l'accumulo di cariche elettrostatiche.

Nell'allegato I della direttiva 89/392/CEE *"Requisiti essenziali di sicurezza e di salute relativi alla progettazione e alla costruzione delle macchine"* è indicato, all'art. 1.1.3:

> **"I materiali utilizzati per la costruzione della macchina o i prodotti impiegati ed originati durante la sua utilizzazione non devono presentare rischi per sicurezza e la salute delle persone esposte"**

più specificamente, all'art. 1.5.7 è detto:

> **La macchina deve essere progettata e costruita in modo da evitare qualsiasi rischio di esplosione provocato dalla macchina stessa o da gas, liquidi, polveri, vapori ed altre sostanze prodotti o utilizzati dalla macchina. A tal fine il fabbricante prenderà le misure necessarie per:**
> - **evitare una concentrazione pericolosa dei prodotti;**
> - **impedire l'accensione della miscela esplosiva;**
> - **ridurre le conseguenze di un'eventuale esplosione in modo che non abbia effetti sull'ambiente circostante. (…) Il materiale elettrico di queste macchine deve essere conforme, per i rischi di esplosione, alle vigenti direttive specifiche"**

In definitiva, *IL COSTRUTTORE DELLA MACCHINA DEVE SEMPRE EFFETTUARE UNA VALUTAZIONE DEI RISCHI CONNESSI CON L'UTILIZZO DELLA MACCHINA.*

Nel caso specifico, in considerazione del rischio di esplosione di miscele infiammabili, la valutazione del rischio deve essere effettuata in conformità alle norme EN 1050 ed EN 1127. La valutazione del rischio deve comprendere i seguenti elementi (EN 1127 art.5):

a Identificare il pericolo, considerando:

1a *le caratteristiche chimico-fisiche della sostanza considerata* quali la temperatura di infiammabilità, i limiti della concentrazione esplosiva (UEL, LEL), la concentrazione limite di ossigeno (LOC);
2a *i requisiti per l'accensione* quali: l'energia minima di accensione, la temperatura minima di accensione dell'atmosfera esplosiva e dello strato di polvere;
3a *il comportamento all'esplosione*: pressione massima di esplosione; velocità massima di aumento della pressione di esplosione; interstizio sperimentale massimo di sicurezza (MESG).

b Determinare la probabilità che si verifichi l'atmosfera esplosiva e la quantità implicata

1b La formazione di un'atmosfera esplosiva dipende dai seguenti fattori:

i) la presenza di una sostanza infiammabile o a rischio di esplosione;
ii) il grado di dispersione della sostanza infiammabile o a rischio di esplosione;
iii) la concentrazione della sostanza infiammabile o a rischio di esplosione nell'aria all'interno del campo di esplosione ([24]);

---

[24] **si noti bene che *i limiti di esplosione per le polveri non hanno lo stesso significato di quelli per i gas e i vapori*: le nubi di polveri sono solitamente non omogenee; la concentrazione può mostrare importanti variazioni localizzate per effetto della formazione di depositi di polveri e della loro dispersione in atmosfera. Occorre inoltre sempre considerare la possibile formazione di atmosfere esplosive in presenza di depositi di polvere combustibile**

iv) la quantità di atmosfera esplosiva sufficiente per produrre lesioni o danni per accensione.

c Determinare la presenza e la probabilità di sorgenti di innesco in grado di accendere l’atmosfera esplosiva (art. 5.3):

1c deve essere valutata la capacità che una sorgente di innesco ha di accendere l’atmosfera esplosiva, confrontandola con le caratteristiche della sostanza considerata;

2c deve essere valutata la probabilità di sussistenza di sorgenti di innesco tenendo conto di quelle che possono comparire ad es. durante le operazioni di manutenzione e pulizia;

3c le sorgenti di innesco devono essere classificate in considerazione della loro probabilità di esistenza;

4c esempi di possibili sorgenti di innesco sono:

i) superfici calde (art. 5.3.2);
ii) fiamme gas caldi, incluse particelle calde (art. 5.3.3.);
iii) scintille di origine meccanica (art. 5.3.4);
iv) inneschi di origine elettrica (art. (5.3.5);
v) correnti elettriche vaganti, protezione catodica contro la corrosione (art. 5.3.6);
vi) elettricità statica (art. 5.3.7);
vii) fulminazione (art. 5.3.8)
viii) induzione elettromagnetica (artt. 5.3.9, 5.3.10. e 5.3.11);
ix) ultrasuoni (art. 5.3.12)
x) compressione adiabatica e onda d’urto (art.5.313);
xi) reazioni esotermiche (art. 5.3.14).

d Determinare i possibili effetti di un’esplosione (art. 5.4);

e Valutare il rischio:

e.1. Si deve porre attenzione particolare per gli apparecchi e i componenti complessi, per gli impianti che comprendono unità particolari e, soprattutto, per gli impianti estesi;

e.2. La valutazione del rischio deve tenere conto del pericolo di accensione ed esplosione derivante da:

· apparecchi, sistemi di protezione e componenti stessi;
· interazione tra gli apparecchi, i sistemi di protezione, i componenti e le sostanze trattate;
· il processo industriale specifico realizzato negli apparecchi, sistemi di protezione e componenti;
· le interazioni dei singoli processi in diverse parti degli apparecchi, sistemi di protezione e componenti;
· l’ambiente circostante gli apparecchi, sistemi di protezione e componenti e la possibile interazione con processi vicini.

e.3. Considerare le misure di minimizzazione dei rischi (art. 6).

CLASSIFICAZIONE DELLE ZONE: **per determinare le misure necessarie al fine di evitare l'accensione delle miscele infiammabili, i luoghi pericolosi vengono classificati in "zone" sulla base della frequenza e della durata di un'atmosfera esplosiva pericolosa (EN 60079-10, EN1127-1, CEI 64-2).**
Nel caso di luoghi pericolosi per la presenza di polveri (luoghi di classe 2) si distinguono le seguenti zone:

Zona 20:	**Luogo in cui è presente con continuità o per lunghi periodi o frequentemente l'atmosfera esplosiva sotto forma di nube di polvere combustibile e aria (ad esempio l'interno di serbatoi, tubazioni, recipienti);**
Zona 21:	**Luogo in cui è probabile che si presenti, occasionalmente, durante il normale funzionamento un'atmosfera esplosiva sotto forma di nube di polvere combustibile e aria (ad esempio i luoghi in corrispondenza dei punti di caricamento o svuotamento);**
Zona 22:	**Luogo in cui è improbabile che si presenti, durante il normale funzionamento, un'atmosfera esplosiva sotto forma di nube di polvere combustibile e aria, ma che, qualora dovesse presentarsi, persisterà solo per un breve periodo (ad esempio i luoghi in corrispondenza di punti ove si possono verificare fuoriuscite di polveri a causa di perdite dai sistemi di contenimento).**

Le *MISURE DI PROTEZIONE DA ADOTTARE* dipendono dalla probabilità di comparsa di un'atmosfera esplosiva e dalle conseguenze di una possibile esplosione. Ciò si valuta assegnando agli apparecchi una categoria, come indicato dalla Direttiva 94/9/CE (direttiva Atex):

La *categoria 1*	**comprende apparecchi progettati per poter operare in conformità ai parametri operativi stabiliti dal costruttore ed in grado di assicurare un livello di protezione molto alto. Gli apparecchi di questa categoria sono destinati ad essere utilizzati in luoghi in cui sono presenti continuativamente, per lunghi periodi o frequentemente atmosfere esplosive. Gli apparecchi di questa categoria devono assicurare il livello di protezione richiesto anche in caso di rari incidenti all'apparecchio e sono caratterizzati da mezzi di protezione tali per cui:**

	· in caso di guasto di una misura di protezione, almeno una seconda misura indipendente assicuri il livello di protezione richiesto; **· oppure il livello di protezione richiesto sia assicurato in caso di due guasti indipendenti l'uno dall'altro.**
La ***categoria 2***	**comprende apparecchi progettati per poter operare in conformità ai parametri operativi stabiliti dal costruttore ed in grado di assicurare un livello di protezione alto. Gli apparecchi di questa categoria sono destinati ad essere utilizzati in luoghi in cui è probabile che si presentino atmosfere esplosive.** **Le misure di protezione riguardanti gli apparecchi di questa categoria assicurano il livello di protezione richiesto anche in caso di disturbi frequenti o di guasti all'apparecchio di cui normalmente si deve tenere conto.**
La ***categoria 3***	**comprende apparecchi progettati per poter operare in conformità ai parametri operativi stabiliti dal costruttore ed in grado di assicurare un livello di protezione normale. Gli apparecchi di questa categoria sono destinati ad essere utilizzati in luoghi in cui è improbabile che si presentino atmosfere esplosive, oppure, qualora si presentino, ciò si verificherà solo raramente e per un breve periodo.**

IN PARTICOLARE, NEL CASO DI ATMOSFERE ESPLOSIVE CAUSATE DA MISCELE POLVERE-ARIA **gli apparecchi devono rispondere ai seguenti requisiti:**

categoria 3	**Si devono evitare le sorgenti di accensione che possono presentarsi continuativamente o frequentemente, (per es. durante il normale funzionamento degli apparecchi, sistemi di protezione e componenti). Ciò vale per l'accensione sia di uno strato di polvere che di una nube di polvere e comprende anche la limitazione delle temperature superficiali per impedire l'accensione delle polveri depositatesi.**
categoria 2	**Oltre ad evitare le sorgenti di accensione specificate per la categoria 3, si**

	devono evitare anche le sorgenti di accensione che possono presentarsi in situazioni rare (per es. a causa di anomalie di funzionamento degli apparecchi, sistemi di protezione e componenti). Ciò vale per l'accensione sia di uno strato di polvere che di una nube di polvere.
categoria 1	**Oltre ad evitare le sorgenti di accensione specificate per la categoria 2, si devono evitare anche le sorgenti di accensione che possono presentarsi soltanto in sistemi di protezione e componenti**

TUTTO QUANTO PRECEDE deve ovviamente essere stato adeguatamente considerato tanto in fase di acquisizione macchine ed attrezzature (che debbono recare le attestazioni di conformita' ed adeguatezza all'impiego nella specifica applicazione), quanto in fase di installazione, uso e manutenzione (fatto sostanzialmente a carico del datore di lavoro)
Da parte degli U.P.G. SPRESAL occorre dunque anzitutto un'accurata verifica di correttezza e completezza della documentazione aziendale con specifico riferimento all'aspetto identificazione, analisi e gestione dei rischi di incendio ed esplosione:

- **sia per quanto riguarda le macchine, attrezzature ed impianti, che devono essere tutti di tipo riconosciuto idoneo ([25]) alla *specifica* destinazione d'uso <esplicita dichiarazione del fabbricante>, ed installate, utilizzate e manutenute secondo quanto specificato nella documentazione fornita dal fabbricante stesso. Si precisa altresi' che le eventuali parti di consumo vanno anch'esse prese in considerazione nella analisi, e la scelta del tipo e caratteristiche –ove non espressamente indicate dal fabbricante- vanno motivate ed approvate dall'analista e non possono essere modificate in azienda salva preliminare rianalisi ([26]);**

- **sia per quanto in generale previsto con riferimento ai luoghi [e servizi generali] ed alle procedure di lavoro ed operazioni accessorie (manutenzioni, pulizie, ecc), ivi compresi gli aspetti di informazione e formazione del personale che opera in condizioni di routine e del personale cui sono affidati i compiti di gestione delle emergenze.**

---

[25] **si rammenta che per il riconoscimento della adeguatezza di una macchina od un impianto complesso ai fini della marchiatura CE non e' sufficiente la "certificazione" dei vari componenti**
[26] **cio' vale ad esempio per i materiali di attrito, quali i nastri abrasivi, le cui condizioni di impiego e tempo di sostituzione devono essere accuratamente analizzati e definiti.**

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

CENTRO STUDI PER LA FISICA DELLE ROCCE E LE GEOTECNOLOGIE

c/o Dipartimento di Georisorse e Territorio del Politecnico di Torino

Corso Duca degli Abruzzi 24 - 10129 Torino; Tel.: 011 - 5647618; Fax: 011 - 5647679

ASSESSORATO SANITÀ

DIP.PREVENZIONE SPRESAL

Contratto annuale tra l'Azienda regionale U.S.L. n.14 – V.C.O. - Servizio di prevenzione e sicurezza negli ambienti di lavoro, ed il centro CNR - FIRGET di Torino, per "supporto di ricerca e aggiornamento su temi, di competenza dell'Azienda, concernenti la sicurezza e l'igiene del lavoro".

PROBLEMA: LAVORAZIONI SU ALLUMINIO E LEGHE

RELAZIONE FINALE

PARTE 2: LISTA DI CONTROLLO

strutturata al fine di:

1. **valutare la completezza della documentazione aziendale nei confronti del rischio specifico (colonna 1)**
2. **verificare sul campo l'attuazione di quanto previsto (colonna 2).**

FERMO RESTANDO CHE IL DOCUMENTO DI SICUREZZA AZIENDALE DEVE RISPONDERE AI DETTAMI DEL Dlgs.626 E RELATIVE INTEGRAZIONI E MODIFICHE, E L'APPROCCIO ALLA ANALISI DEI RISCHI PER IL PROBLEMA SPECIFICO DEVE RISPETTARE I PRINCIPI STABILITI NELLA CITATA NORMA EN 1127/97 la lista di controllo proposta e' strutturata in modo da rendere possibile una agevole verifica della rispondenza dell'impianto, delle attrezzature, delle procedure di lavorazione e manutenzione a quanto stabilito dalla norma NFPA [National Fire Protection Association] 651 *Standard for the Machining and Finishing of Aluminum and the Production and Handling of Aluminum Powders* 1998 Edition (scelta come riferimento per l'autorevolezza della fonte, e lo stato di aggiornamento in attesa di un riferimento comunitario o nazionale sulla materia).

Il documento e' stato strutturato su 2 colonne principali, che corrispondono rispettivamente a:

a. ***COLONNA 1*: questionario elaborato in base al documento citato, finalizzato ad accertare la correttezza ed esaustivita' della analisi di rischio e la efficacia delle soluzioni volte alla minimizzazione dello stesso, come risultante dalla documentazione di sicurezza aziendale; Alla colonna 1 sono associate le colonne R1S ed R1N di risposta alle domande di colonna 1;**

b. ***COLONNA 2*: QUALORA IL RISULTATO DI CUI A COLONNA 1 SIA SODDISFACENTE ([27]), *l'U.P.G. potra' procedere alla verifica diretta sul campo circa la corretta attuazione di quanto dall'analista previsto in materia di gestione e minimizzazione del rischio, segnatamente per quanto concerne la manutenzione di macchine ed attrezzature, ed il rispetto delle procedure operative previste nel documento di sicurezza aziendale. Anche in questo caso le successive colonne R2S ed R2N consentono di annotare direttamente le valutazione risultanti dalla verifica.***

Il documento e' completato da una colonna ANNOTAZIONI, nella quale possono essere evidenziate le considerazioni accessorie, segnatamente per quanto concerne la adozioni di eventuali soluzioni di sicurezza di documentata "pari efficacia" *([28]).*

CNR-FIRGET - finito di stampare li 28 dicembre 00

il responsabile del contratto
Mario Patrucco

i presenti documenti sono stati elaborati con la preziosa collaborazione degli

ingg.M.L Debernardi, L.Marmo, R.Tommasini

---

[27] diversamente, ad esempio in caso di mancata analisi e riduzione di alcuni rischi, l'accesso diviene del tutto inutile, e potenzialmente pericoloso per l'U.P.G. che puo', a nostro avviso, limitarsi a prescrivere il completamento dell'analisi in questione (con o senza fermata della produzione), da cui ovviamente derivera' una corretta gestione dei rischi non adeguatamente considerati.

[28] anche in questa stesura si e' volutamente posto particolare accento, nel pieno rispetto, piu' volte ribadito anche nello standard di riferimento della pari efficacia delle soluzioni tecniche, alla esigenza di completezza e formalizzazione della analisi di rischio aziendale, ed alla importanza essenziale ai fini della sicurezza tanto di una corretta progettazione quanto dell'azione di conservazione della sicurezza, ottenibile attraverso puntuale formalizzazione delle procedure tanto operative quanto di controllo e mantenimento

Verifiche sul documento aziendale di sicurezza	R1S	R1N	Verifiche in loco	R2S	R2N	Annotazioni
CAPITOLO 4 OPERAZIONI DI LAVORAZIONE E RIFINITURA			***CAPITOLO 4 OPERAZIONI DI LAVORAZIONE E RIFINITURA***			
4.1 Scopo			***4.1 Scopo***			
E' chiaramente indicato nel documento di analisi dei rischi dell'azienda il tipo di lavorazioni effettuate?			**C'è corrispondenza con quanto indicato?**			
4-2 Operazioni che producono polvere			***4-2 Operazioni che producono polvere***			
In fase di progettazione, è stata discussa la necessità di dotare tutte le macchine di almeno un dispositivo di cattura della polvere per ogni sorgente di polvere? (Se ad una macchina corrisponde una sola sorgente di polvere, andrà predisposto un aspiratore per postazione di lavoro).			**Tutte le macchine sono dotate di almeno un dispositivo di cattura della polvere per ogni sorgente di polvere?**			
Esiste un progetto che discuta i principi di realizzazione e gestione dei dispositivi di cattura della polvere con particolare riferimento alla velocità di aspirazione e cattura?						
Il dispositivo di aspirazione è stato realizzato in maniera tale da consentire la cattura di tutta la polvere prodotta?			**Sono assenti accumuli di polvere anche in prossimità delle sorgenti?**			
E' stata discussa nella valutazione dei rischi aziendali la dislocazione nell'ambiente delle macchine che producono polvere?			**La disposizione nell'ambiente delle macchine che producono polvere è coerente con quanto rilevato in fase di valutazione dei rischi?**			
E' stato considerato, nella dislocazione delle macchine, il principio della riduzione al minimo dello sviluppo e delle variazioni in direzione e sezione delle tubazioni dell'impianto di aspirazione?			**Sono effettivamente ridotti al minimo lo sviluppo e le variazioni in direzione e sezione delle tubazioni dell'impianto di aspirazione?**			
Esiste documentazione che riporti la necessità di posizionare gli abbattitori a secco all'esterno dell'edificio?			**Gli abbattitori a secco sono collocati al di fuori dell'edificio?**			
Esiste documentazione che specifichi il dimensionamento dei ripari meccanici da apporre per la protezione del personale?			**I separatori a secco sono dotati di ripari meccanici o altri mezzi efficaci per la protezione del personale?**			
Viene esplicitata la necessità di segnalare la presenza di polvere esplodibile nell'area circostante il separatore a secco?			**L'area circostante il separatore a secco è munita di appositi cartelli atti ad indicare la presenza di polvere esplodibile?**			

Verifiche sul documento aziendale di sicurezza	R1S	R1N	Verifiche in loco	R2S	R2N	Annotazioni
Esiste chiara segnalazione sulla necessità che gli impianti di captazione delle polveri debbano essere dedicati esclusivamente alle polveri di alluminio e sue leghe?			**Gli impianti di captazione predisposti per la captazione delle polveri di alluminio e sue leghe, sono dedicati esclusivamente a questo tipo di polvere?**			
4-3. Condotti e impianto di abbattimento			***4-3. Condotti e impianto di abbattimento***			
E' dimostrato come la velocità media dell'aria in ogni sezione del condotto sia tale da ridurre al minimo le possibilità di sedimentazione di polveri nei condotti (superiore a 23 m/s in tutti i tratti dei condotti di aspirazione)? Nota: a tal proposito, si ricordi che una velocità elevata può comportare numerosi ricambi/ora sul luogo di lavoro e conseguenti condizioni termo-igrometriche non accettabili; nel determinare la portata aspirata, e quindi i ricambi/ora, si deve tenere conto della sezione delle tubazioni e delle dimensioni delle particelle).						
Se l'unico sistema di protezione e' la diluizione (funzione della velocità dell'aria e della portata di solido) –cosa che peraltro la UNI 11-27-1 sconsiglia -, è dimostrato che il flusso volumico d'aria è tale da mantenere il carico di polveri al di sotto di K * LEL in ogni tratto del sistema di aspirazione? E' motivata la scelta del valore di k in base ad un'analisi di rischio? Nota: per la polvere di alluminio un valore precauzionale di LEL può essere assunto pari a 40 g/m^3 (da CEI 64-2 / 98) (Qualora il progettista abbia assunto un valore più elevato, deve esserne dimostrata l'accettabilità).						
Esiste documentazione di progetto che vieti la reimmissione dell'aria depurata all'interno degli edifici in tutti i periodi dell'anno qualunque sia il tipo di abbattitore di polveri utilizzato?			**E' rispettato il divieto di reimmissione dell'aria depurata all'interno degli edifici (anche d'inverno)?**			
Realizzazione dei condotti			***Realizzazione dei condotti***			
Esiste uno schema dell'impianto?			**L'impianto è rigorosamente conforme allo schema?**			

Verifiche sul documento aziendale di sicurezza	R1S	R1N	Verifiche in loco	R2S	R2N	Annotazioni
I materiali con cui sono realizzati i condotti, sono indicati nella valutazione dei rischi? **La rugosità interna è certificata dal costruttore?** **E' documentato il tipo di giunzioni (con giunti sovrapposti montati controvento)?**			**Verifica a campione che all'interno dei condotti la rugosità corrisponda a quella di progetto**			
Esiste dichiarazione del progettista circa la conformazione dell'impianto predisposta in maniera tale da evitare la presenza di tratti ciechi od anche temporaneamente inutilizzati?			**La conformazione dell'impianto è tale da evitare la presenza di tratti ciechi od anche temporaneamente inutilizzati?**			
E' stata valutata la necessità di orientare le giunzioni dei condotti in modo tale da scongiurare un pericolo per il personale nel caso in cui questi siano proiettati a seguito apertura violenta da esplosione?			**Le giunzioni dei condotti sono orientate in modo tale che, in caso di apertura violenta, i tratti di condotto siano proiettati lontano dal personale, come riportato sul documento di valutazione dei rischi (verificare che non siano state modificate le posizioni od i percorsi del personale)?**			
Nel caso in cui rami d'impianto siano stati aggiunti in epoca posteriore alla realizzazione originaria, *il progettista* ha provveduto alla riprogettazione dell'impianto? **Nota: per gli aspetti "elettrici ed elettrostatici" verificare documentazione di progetto e sicurezza, comprese le specifiche di verifica e manutenzione.**			**L'impianto rispetta lo schema del progettista?**			
Esiste in tal caso documentazione che dimostri che le modifiche apportate non comportano accumulo di polveri e/o superamenti dei limiti di concentrazione ammessi?						
4-4 Abbattitori a umido			***4-4 Abbattitori a umido***			
Esiste documentazione riportante la posizione che deve occupare il camino, le sue dimensioni, i relativi calcoli progettuali e le motivazioni delle scelte progettuali circa la pressione che deve sopportare (pari a quella sopportata dall'abbattitore)? ***Nota: secondo USBM RI 6516 la max pressione può superare i 6,20 MPa, mentre in Crowl & Louvar chemical process safety ed 1990 sono indicati valori da 5.4 a 12.9 MPa.***			**Il camino è nel posto ed ha le caratteristiche previste sul disegno?**			
Nel documento di sicurezza aziendale sono indicate frequenza e procedure di ispezione e pulizia del camino?						

Verifiche sul documento aziendale di sicurezza	R1S	R1N	Verifiche in loco	R2S	R2N	Annotazioni
Nel documento di sicurezza aziendale e' esplicitato il criterio di progettazione del separatore allo scopo di dimostrare che si e' fatto in modo da evitare il contatto di particelle di alluminio con parti in rapido movimento?			**Il ventilatore è posto a valle del separatore?**			
Nel documento di sicurezza aziendale e' esplicitato il criterio di progettazione del separatore (è dimostrata l'ottimizzazione del dilavaggio dell'aria polverosa da parte del liquido)?						
E' esplicitamente vietato l'impiego di un filtro addizionale a secco a valle del separatore a umido o ad esso combinato?			**Sono effettivamente assenti sistemi di separazione addizionali a valle del separatore a umido o ad esso combinati?**			
Nel documento di sicurezza aziendale sono indicate frequenza e procedure di asportazione del fango dal separatore?			**Viene evitato l'accumulo di fango nel separatore?**			
Esiste documentazione che riporti le modalità e la necessità di ventilare la vasca di raccolta del separatore ad impianto fermo?			**La vasca di raccolta del separatore è sempre ventilata?**			
Esiste documentazione che riporti la necessità di tenere aperte le aperture di ventilazione della vasca quando il ventilatore principale è fermo?			**Esiste un dispositivo che mantenga le aperture di ventilazione della vasca quando il ventilatore principale è fermo? Viene regolarmente adoperato?**			
In fase di progettazione è stato previsto ventilatore secondario di sicurezza per garantire la ventilazione continua della vasca?			**Esiste un ventilatore indipendente da quello principale che assicuri comunque la ventilazione della vasca?**			
In fase di progettazione è stato previsto un sistema di controllo del livello di liquido nell'abbattitore a umido? E' prevista una risposta (automatica od a comando manuale) al segnale di basso livello?			**L'abbattitore ad umido è dotato del sistema di controllo del livello di liquido? Il dispositivo di allarme od intervento automatico per basso livello risulta effettivamente funzionante (prova simulata di basso livello)?**			
In fase di progettazione è stato previsto un sistema di controllo dell'alimentazione delle macchine connesso con il ventilatore e con il sensore di livello?			**Esiste il sistema di blocco dell'alimentazione delle macchine connesso con il ventilatore e con il sensore di livello?**			

Verifiche sul documento aziendale di sicurezza	R1S	R1N	Verifiche in loco	R2S	R2N	Annotazioni
In fase di progettazione è stato previsto un interruttore temporizzato che impedisca l'avviamento delle macchine che producono polvere finché l'impianto di aspirazione non è a regime? Nota: ai fini della prevenzione della formazione di atmosfere esplosive nei condotti, è certamente preferibile asservire l'azionamento delle macchine a sensori di portata (ad esempio a rilevatori di depressione sui vari condotti).			**L'interruttore temporizzato funziona (prova simulata)? I sistemi alternativi alla temporizzazione sono attivi?**			
Esiste una procedura formalizzata riguardante la periodicità di raccolta dei fanghi risultanti dal lavatore ad umido?			**I fanghi raccolti con il lavatore ad umido vengono asportati almeno una volta al giorno per impedirne l'accumulo?**			
Nella procedura sono riportate le caratteristiche che devono avere i contenitori di raccolta dei fanghi? La necessità di coprirli e ventilarli?			*I contenitori di raccolta fanghi sono metallici? Coperti?* *Ventilati?* **La loro capacità è inferiore a 23 kg?**			
Nella procedura è riportata la necessità di inertizzare i fanghi e le modalità da seguire?			**I fanghi sono inertizzati con una quantità di inerte in proporzione di 1:5?**			
Nel caso in cui la quantità d'inerte utilizzata sia inferiore al quintuplo della quantità di fango, è stata documentata la procedura autorizzata di eliminazione?						
E' esplicitato il divieto di fumare ed adoperare fiamme libere in tutte le operazioni di eliminazione dei fanghi?			**Sono apposti cartelli indicanti il divieto di fumare e di adoperare fiamme libere in tutte le operazioni di eliminazione dei fanghi? Il divieto viene fatto rispettare?**			
4-5. Separatori a secco			***4-5. Separatori a secco***			
In caso di adozione di separatori a secco e' stata fatta una analisi comparata di rischio nei confronti di altre soluzioni di separazione? E' dimostrato che la soluzione adottata comporta un livello di rischio dello stesso ordine?						
E' escluso l'uso di separatori elettrostatici?			**E' escluso l'utilizzo di separatori elettrostatici?**			
Nella valutazione del rischio, sono univocamente definiti (con motivazione tecnica della scelta) il tipo e le caratteristiche dei teli filtranti da utilizzare (devono essere in materiale conduttivo)?			**I teli filtranti del separatore a secco sono del tipo previsto?**			

Verifiche sul documento aziendale di sicurezza	R1S	R1N	Verifiche in loco	R2S	R2N	Annotazioni
Esiste documentazione di progetto che garantisca contro l'accumulo di polvere in altre parti del separatore oltre che negli appositi contenitori di raccolta?			**E' assente l'accumulo di polvere in altre parti del separatore oltre che negli appositi contenitori di raccolta?**			
Esiste procedura scritta che sancisca quanto posto in atto per mantenere pulito il separatore a secco?			**Il separatore a secco è mantenuto pulito?**			
Esiste documentazione di progetto che garantisca contro l'accumulo d'acqua o condensa nel sistema a secco?			**E' assente l'accumulo dell'acqua di condensa nel sistema a secco?**			
Esiste una procedura formalizzata riguardante la periodicità di rimozione della polvere dal collettore a secco?			**La polvere è rimossa dal collettore a secco almeno una volta al giorno per evitarne l'accumulo?**			
Nella procedura sono riportate le caratteristiche che devono avere i contenitori di raccolta della polvere rimossa dal collettore a secco?			**I contenitori di raccolta sono metallici e sigillabili?**			
Nella procedura è riportata la necessità di sigillare immediatamente i contenitori di raccolta?			**Il personale provvede a sigillare immediatamente i contenitori di raccolta?**			
La procedura di rimozione evita la formazione di nubi di polvere?						
Nella procedura è riportata la necessità di inertizzare la polvere e le quantità di inerte da utilizzare?			**La polvere è immediatamente inertizzata con una quantità di inerte in rapporto di 1:5?**			
In fase di progetto sono stati previsti sfoghi per la deflagrazione nei separatori a secco?			**I separatori a secco sono provvisti degli sfoghi per la deflagrazione? Tali sfoghi sono liberi?**			
In fase di progetto è stata fatta un'apposita valutazione del loro orientamento in modo da minimizzare i danni alle apparecchiature o al personale in caso di esplosione?			**La disposizione degli sfoghi minimizza i danni alle apparecchiature o al personale in caso di esplosione (verificare che non siano state modificate le posizioni od i percorsi del personale)?**			
Esiste una procedura formalizzata riguardante le modalità da seguire in caso di manutenzione al collettore di polveri?			**Il personale (tutti o gli addetti a tali operazioni) è a conoscenza dell'obbligo di svuotare completamente il collettore di polveri e di disconnettere e proteggere i condotti che convogliano in esso prima di ogni operazione di manutenzione?**			
Nel documento di sicurezza aziendale sono indicate frequenza e procedure di pulizia di bocchette di aspirazione e condotti?			**Viene evitato l'accumulo di polvere nelle bocchette di aspirazione e nei condotti?**			

Verifiche sul documento aziendale di sicurezza	R1S	R1N	Verifiche in loco	R2S	R2N	Annotazioni
Nel documento di sicurezza aziendale e' richiamato il criterio di progettazione del separatore allo scopo di dimostrare che si e' fatto in modo da evitare il contatto di particelle di alluminio con parti in rapido movimento (tra gli altri accorgimenti, è assolutamente necessario posizionare il ventilatore a valle del filtro)			**Il ventilatore è posto a valle rispetto al filtro?**			
4-7 Lavorazione e taglio			***4-7 Lavorazione e taglio***			
Nel documento di sicurezza aziendale sono definite le caratteristiche che devono avere gli utensili da taglio (marca, modello e certificazione di qualita')?			**Gli utensili da taglio utilizzati sono quelli predefiniti nella valutazione di rischio aziendale?**			
Esiste una procedura scritta di verifica sistematica dello stato degli utensili? Esiste un programma formalizzato scritto di sostituzione?			**Gli utensili da taglio sono mantenuti affilati?**			
Esiste una procedura scritta per la raccolta degli sfridi d'alluminio, trucioli e scarti in contenitori chiusi?			**Tutti gli sfridi d'alluminio, trucioli e scarti sono raccolti in contenitori chiusi?**			
Nella procedura è definita la periodicità di rimozione degli sfridi d'alluminio, dei trucioli e degli scarti?			**Gli sfridi d'alluminio, trucioli e scarti sono rimossi almeno una volta al giorno per evitarne l'accumulo?**			
Esiste una procedura scritta che stabilisca l'utilizzo di refrigeranti da taglio non infiammabili?			**Le caratteristiche dei refrigeranti da taglio utilizzati corrispondono a quanto stabilito sul documento di sicurezza aziendale?**			
Nella procedura è definita la modalità della filtrazione da operare sul refrigerante?			**È operata la filtrazione in continuo del refrigerante?**			
Nella procedura è definita la periodicità con cui rimuovere le particelle raccolte in modo da evitare accumuli superiori a 19 l?			**Le particelle raccolte sono rimosse con la frequenza prevista?**			
4-8 Impianto elettrico e prevenzione delle scariche elettrostatiche			***4-8 Impianto elettrico e prevenzione delle scariche elettrostatiche***			
L'impianto elettrico utilizzatore e gli impianti di bordo macchine (attrezzature, macchine utensili, impianti di aspirazione, ecc.) sono oggetto di esplicite indicazioni nel documento di progetto, che ne attestino l'adeguatezza alla specifica condizione di rischio?			**Gli impianti sono conformi a quanto indicato nello schema di cui al documento di sicurezza?**			
Esiste documentazione l.46/90?						

Verifiche sul documento aziendale di sicurezza	R1S	R1N	Verifiche in loco	R2S	R2N	Annotazioni
Sono documentate l'analisi di rischio e gli eventuali sistemi di protezione dalle scariche elettrostatiche?						
E' esplicitato il divieto assoluto di modifiche senza preventiva analisi di rischio?			**E' esplicitamente vietata l'introduzione nelle aree a rischio di dispositivi elettrici non autorizzati?**			
E' considerata la procedura di manutenzione che garantisca contro il decadimento delle caratteristiche di sicurezza?						

Verifiche sul documento aziendale di sicurezza	R1S	R1N	Verifiche in loco	R2S	R2N	Annotazioni
CAPITOLO 5 GESTIONE DELL'AMBIENTE			***CAPITOLO 5 GESTIONE DELL'AMBIENTE***			
5.2 Procedure di pulizia per accumuli di polvere dispersa			***5.2 Procedure di pulizia per accumuli di polvere dispersa***			
Esiste procedura formalizzata nel documento di sicurezza aziendale circa le modalità da seguire per evitare formazione e accumulo di polvere dispersa?			**Sono rispettate le modalità definite per evitare la formazione e l'accumulo di polvere dispersa?**			
Esiste procedura formalizzata nel documento di sicurezza aziendale circa le modalità da seguire e le attrezzature da utilizzare per la pulizia periodica della polvere dispersa? Per le attrezzature, sono esplicitate le caratteristiche?			**La pulizia periodica della polvere dispersa è effettuata esclusivamente con attrezzi del tipo previsto nel documento di sicurezza?**			
Nel caso vengano utilizzati apparecchi aspiranti, essi sono conformi a quanto specificato in 5.3?						
Esiste procedura formalizzata riportante le operazioni da effettuare in caso di sversamento di polvere?			**Gli apparecchi aspiranti sono utilizzati esclusivamente per la pulizia finale dei residui di polvere?**			
5.3 Apparecchi aspiranti per la pulizia			***5.3 Apparecchi aspiranti per la pulizia***			
Esiste procedura formalizzata riportante le modalità di utilizzo degli apparecchi aspiranti?			**Sono utilizzati esclusivamente gli apparecchi aspiranti previsti?**			
La scelta degli apparecchia aspiranti è motivata e sono determinate le caratteristiche, il tipo di collegamento all'alimentazione?			**Sono rispettate le prescrizioni previste?**			
Esiste documentazione che provi che gli apparecchi aspiranti sono progettati per essere utilizzati per la raccolta di polveri combustibili?						
Esiste documentazione che provi che gli apparecchi aspiranti sono sottoposti alla manutenzione necessaria per essere utilizzati per la raccolta di polveri combustibili?						
Gli aspiratori portatili sono approvati per la raccolta di polveri combustibili?						
Esiste una procedura che definisca le proprietà di tubi e ugelli degli aspiratori (da realizzare in materiale conduttivo)?			**Tubi ed ugelli degli aspiratori sono del tipo previsto?**			

Verifiche sul documento aziendale di sicurezza	R1S	R1N	Verifiche in loco	R2S	R2N	Annotazioni
I vari componenti dell'apparecchio aspirante sono collegati tra loro in modo da assicurare continuità elettrica? E' effettuata regolare verifica della continuità elettrica?						
Esiste una procedura per lo scarico delle polveri raccolte per mezzo di un aspiratore fisso in un contenitore esterno all'edificio?			**E' predisposto un contenitore esterno all'edificio per lo scarico delle polveri raccolte?**			
5.4 Pulizia con aria compressa			***5.4 Pulizia con aria compressa***			
E' valutato quando effettuare la pulizia con aria compressa?			**E' sempre evitata la pulizia con aria compressa?**			
E' esplicitato come effettuare la pulizia ad aria compressa?			**Nel caso si effettui la pulizia con aria compressa, è impossibile effettuare la pulizia altrimenti?**			
E' previsto lo spegnimento delle macchine prima dell'esecuzione della pulizia con aria compressa?						
5.5 Pulizia ad acqua			***5.5 Pulizia ad acqua***			
Condizioni per l'effettuazione della pulizia con acqua			**E' sempre evitata la pulizia con acqua?**			
Esiste una procedura per effettuare la pulizia con acqua?			**Se e' prevista pulizia ad acqua sono note e rispettate le procedure stabilite nel documento di sicurezza e sono efficienti gli impianti dedicati?**			
Sono stati valutati i rischi derivanti dalla pulizia con acqua?						
E' prevista la ventilazione da adottare per mantenere la concentrazione di idrogeno al di sotto del LEL?						
Se è prevista pulizia con acqua, sono individuati la procedura e il layout impiantistico (es.ventilatori) opportuni?						
E' previsto e analizzato il drenaggio del liquido e dei fanghi in un'area sicura e distante tramite un efficiente sistema di drenaggio?						
5.6 Frequenza di pulizia			***5.6 Frequenza di pulizia***			
Sono valutati i pericoli derivanti da accumuli eccessivi di polveri nell'ambiente di lavoro?						
Sono esplicitati dei criteri per minimizzare tali accumuli?						

Verifiche sul documento aziendale di sicurezza	R1S	R1N	Verifiche in loco	R2S	R2N	Annotazioni
Sono esplicitate le modalità di pulizia (macchine ferme e alimentazione interrotta) e la relativa frequenza dell'intero edificio e di tutte le apparecchiature?			**Pare efficace la pulizia dell'intero edificio e di tutte le apparecchiature?**			

Verifiche sul documento aziendale di sicurezza	R1S	R1N	Verifiche in loco	R2S	R2N	Annotazioni
CAPITOLO 6 PREVENZIONE, PROTEZIONE INCENDI E PROCEDURE			***CAPITOLO 6 PREVENZIONE, PROTEZIONE INCENDI E PROCEDURE***			
Sono rispettate le norme vigenti generali di prevenzione incendi (ove applicabile ad es. Decreto Min.Interno 10 marzo 1998 *criteri generali di sicurezza antincendio e per la gestione dell'emergenza nei luoghi di lavoro*).						
Esiste una procedura formalizzata da seguire per lo spegnimento degli incendi?			**Il personale operante in azienda è a conoscenza della procedura da seguire in caso di emergenza incendio (v. anche oltre al punto formazione)? Il personale adeguatamente formato è sempre presente in azienda in numero sufficiente? Esistono registri di presenza?**			
6.2 Agenti estinguenti e tecniche di applicazione da adoperarsi sulla polvere di alluminio combustibile.			***6.2 Agenti estinguenti e tecniche di applicazione da adoperarsi sulla polvere di alluminio combustibile***			
La procedura di spegnimento di un incendio incipiente prevede di arginare le fiamme con inerte solido (sabbia, materiale granulato)?			**Il materiale inerte solido da utilizzare per arginare le fiamme è a disposizione del personale e stoccato in un luogo facilmente accessibile e adeguatamente segnalato?**			
E' esplicitamente specificato nella procedura come evitare ogni interferenza con la polvere combustibile in modo da impedirne il sollevamento?			**La procedura consente effettivamente di evitare ogni interferenza con la polvere combustibile?**			
Sono esplicitate le modalità di stoccaggio degli estinguenti solidi?			**Esistono stoccaggi di estinguenti solidi? La modalità di stoccaggio permette di mantenere asciutto il materiale estinguente?**			
E' specificata la modalità da seguire per applicare l'inerte estinguente?			**Sono a disposizione pale o palette certificate antistatiche per applicare l'inerte estinguente?**			
Nel caso l'estinguente solido sia applicato con un estintore, esso è di classe riconosciuta idonea e dotato di ugello a bassa velocità? *(NOTA: nel documento NFPA sono raccomandati estintori in classe D. La situazione legislativa Italiana attuale non prevede un protocollo per l'omologazione di estintori per incendi di classe D. Peraltro, dato che le caratteristiche da soddisfare sono proprie di tale classe, una soluzione temporanea ad avviso degli scriventi adeguata e' la certificazione di conformità all'utilizzo in presenza di incendi di classe D rilasciata dal produttore).*			**L'estintore da utilizzare per applicare l'estinguente solido è adeguatamente segnalato e distinguibile dagli altri (esiste un cartello che ne riporti le caratteristiche in modo chiaro) ed accessibile?**			

Verifiche sul documento aziendale di sicurezza	R1S	R1N	Verifiche in loco	R2S	R2N	Annotazioni
E' esplicitata la procedura da seguire in caso di sversamento di polveri (chiusura di porte e finestre e spegnimento di macchine e ventilatori al fine di eliminare ogni possibile circolazione d'aria)? Il personale dell'azienda, è effettivamente a conoscenza delle operazioni da eseguire in caso di sversamento di polveri?						
Sono previsti estintori mobili?			**Qualora siano previsti estintori mobili, questi sono posizionati in luoghi facilmente accessibili al personale competente? Sono adeguatamente segnalati?**			
E' previsto l'uso di estintori di classe espressamente riconosciuta idonea per essere utilizzati sulla polvere di alluminio?			**E' segnalato in modo evidente nei pressi di ogni estintore, quale può essere utilizzato su polveri di alluminio e quale no?**			
Nelle zone in cui sono permesse la pulizia ed il lavaggio con solventi, è previsto l'uso di estintori a tali sostanze dedicati?			**Gli estintori dedicati all'utilizzo sui solventi, sono chiaramente identificati mediante cartelli che ne segnalino la tipologia?**			
E' esplicitato il divieto di utilizzarli su polveri di alluminio?			**E' segnalato in modo evidente che essi NON devono essere utilizzati su polveri di alluminio?**			
E' evitato l'uso di agenti estinguenti alogenati?						
6-3 Polveri bagnate da solventi			***6-3 Polveri bagnate da solventi***			
Nel caso d'incendio incipiente di polveri di alluminio bagnate da solventi, e' ammesso l'impiego di estintori a tali sostanze dedicati? E' comunque opportunamente segnalato che sarebbe da evitare l'uso di agenti estinguenti alogenati?			**Gli estintori dedicati all'utilizzo su polveri di alluminio bagnate da solventi, sono chiaramente identificati mediante cartelli che ne segnalino la tipologia?**			
Nel caso d'incendio incipiente di polveri di alluminio semi umide o impaccate, provenienti da filtri ad umido, sono disponibili estintori di classe adeguata?			**Gli estintori dedicati all'utilizzo su polveri di alluminio semi umide o impaccate, sono chiaramente identificati mediante cartelli che ne segnalino la tipologia?**			
Esiste una procedura da seguire nel caso in cui si utilizzi CO_2 per spegnere incendi di polveri bagnate con solventi (copertura del materiale con sabbia asciutta o granulare inerte, raffreddamento della massa, raccolta del materiale in piccole quantità e successivo posizionamento in contenitori con coperchio di volume inferiore a 11 l posti in contenitori da 19 l)?			**Il materiale inerte (sabbia asciutta o granulare) da utilizzare per spegnere incendi di polveri bagnate con solventi, è a disposizione del personale e stoccato in un luogo facilmente accessibile e adeguatamente segnalato? Sono a disposizione i contenitori adatti per ospitare la massa di materiale raffreddato che viene raccolto dopo lo spegnimento dell'incendio?**			

Verifiche sul documento aziendale di sicurezza	R1S	R1N	Verifiche in loco	R2S	R2N	Annotazioni
E' esplicitato l'intento di utilizzare le applicazioni manuali d'acqua solo come ultima, estrema misura per contrastare incendi?			**Il personale è a conoscenza della necessità di utilizzare le applicazioni manuali d'acqua solo come ultima, estrema misura per contrastare gli incendi?**			
Qualora si intervenga con acqua, le manichette utilizzate sono dotate di ugelli a bassa velocità?			**Sulle manichette dell'acqua sono montati degli ugelli a bassa velocità?**			
La procedura prevede l'applicazione dell'acqua in maniera da evitare il sollevamento della polvere?			**Il personale competente è a conoscenza delle modalità da adottare per utilizzare le manichette dell'acqua senza sollevare la polvere?**			
Qualora si intervenga con acqua, è prevista l'applicazione finché le fiamme sono domate o finché la situazione non è più gestibile?			**Il personale competente sa fino a che punto occorre intervenire con l'estinzione ad acqua?**			
Procedura da seguire dopo l'estinzione ad acqua (pulizia immediata dell'area da polveri bagnate e fanghi)			**Il personale formato nella lotta agli incendi è a conoscenza della necessità di ripulire l'area polveri bagnate e fanghi immediatamente dopo l'estinzione?**			
E' formalizzata la necessità di effettuare le operazioni di pulizia mantenendo gli ambienti ventilati?			**Il personale formato nella lotta agli incendi è a conoscenza della necessità di effettuare le operazioni di pulizia mantenendo gli ambienti ventilati?**			
Sono previsti elementi di confinamento del fuoco (clausola vincolante solo per impianti nuovi)?			**Nel caso in cui l'impianto sia nuovo, sono effettivamente presenti elementi di confinamento del fuoco?**			
6.4 Protezione con sprinkler automatici			***6.4 Protezione con sprinkler automatici***			
Sono esclusi sistemi di protezione con sprinkler automatici in aree con produzione o manipolazione di polvere secca?			**Nelle aree con produzione e manipolazione di polvere secca, sono assenti gli sprinkler automatici?** **Qualora sia previsto l'uso di sprinkler automatici in aree con produzione di polvere secca, in esse sono presenti altri combustibili?**			
Nel caso si sia deciso di utilizzare sprinkler automatici in aree con produzione di polvere secca, esiste un'analisi che dimostri come gli sprinkler riducano il rischio (ed un progetto dedicato)? L'analisi considera il pericolo d'esplosione da polvere di alluminio?						
I sistemi automatici di sprinkler sono in accordo con le relative normative e ne esiste l'indicazione relativa?						

Verifiche sul documento aziendale di sicurezza	R1S	R1N	Verifiche in loco	R2S	R2N	Annotazioni
Esiste un documento scritto riportante data, modalità e firma dei partecipanti ai corsi di formazione e informazione per l'evacuazione delle aree protette da sprinkler in caso d'incendio?			**Il personale operante in azienda è effettivamente a conoscenza della procedura di evacuazione dalle aree protette da sprinkler? E' stato affisso un chiaro piano di evacuazione?**			
6-5 Organizzazione della lotta contro gli incendi			***6-5 Organizzazione della lotta contro gli incendi***			
In caso d'incendio, è previsto che operi solo personale con specifico addestramento?			**Tutto il personale è a conoscenza della necessità che, in caso di incendio, operi solo chi è stato opportunamente addestrato?**			
E' stata predisposta una procedura d'evacuazione del personale non addestrato?			**Il personale operante in azienda è effettivamente a conoscenza della procedura di evacuazione?**			
Esistono procedure che consentano l'informazione sulle caratteristiche dell'impianto e delle lavorazioni del personale del Corpo dei VVF e l'aggiornamento straordinario in caso di modifiche impiantistiche od operative (ivi compresi i tipi di lavorazione e le quantita' di materiale stoccato)? Verificare la relativa documentazione						
6.6 Programma di addestramento dei lavoratori.			***6.6 Programma di addestramento dei lavoratori.***			
Esistono programmi scritti che documentino come i corsi di formazione dei lavoratori forniscano sufficiente informazione circa gli *specifici* pericoli connessi con le lavorazioni che generano polveri di alluminio?			**Il personale è a conoscenza dei pericoli specifici delle lavorazioni che generano polveri di alluminio?**			
Esiste un documento formale che dimostri come i corsi di formazione considerino gli aspetti *specifici* degli incendi da polveri di alluminio, con esplicito riferimento alla tipologia aziendale in cui possono essere chiamati ad intervenire ed alle relative soluzioni impiantistiche ed operative?			**Il personale è a conoscenza dei pericoli specifici degli incendi da polveri di alluminio?**			
Sono state fatte esercitazioni su campi – obbligatoriamente esterni- dove sia possibile simulare le condizioni reali? Ne esiste documentazione formale?						

Verifiche sul documento aziendale di sicurezza	R1S	R1N	Verifiche in loco	R2S	R2N	Annotazioni
E' previsto e documentato l'aggiornamento delle nozioni impartite ai lavoratori prescelti in occasione delle eventuali modifiche impiantistiche, operative e procedurali (ivi compresi i tipi di lavorazione e le quantita' di materiale stoccato)?						
6-7 Riduzione delle sorgenti di ignizione			***6-7 Riduzione delle sorgenti di ignizione***			
Esiste un programma che imponga il divieto di: · **fumare** · **usare fiamme libere** · **effettuare taglio con apparecchi elettrici o a gas** · **effettuare saldature elettriche o a gas** · **condurre operazioni che producono scintille** **nei luoghi con possibile presenza di polvere?**			**Viene rispettato il divieto di effettuare operazioni che possono costituire fonte di innesco nei luoghi con possibile presenza di polvere?**			
Qualora queste operazioni debbano essere effettuate, esistono procedure che stabiliscano lo spegnimento preventivo delle macchine, la bonifica e l'ispezione degli ambienti?			**Il personale sa effettivamente come comportarsi qualora debbano essere effettuate una o più operazioni tra quelle sopra elencate?**			
Esistono procedure di blocco-segnalazione per la disalimentazione delle macchine?			**Il personale conosce e rispetta le procedure di blocco-segnalazione per la disalimentazione delle macchine?**			
Qualora sia riconosciuta la necessita' di effettuare altre lavorazioni a caldo, esiste una procedura formalizzata al riguardo?			**Il personale e' a conoscenza e rispetta la procedura specifica per altre lavorazioni a caldo?**			
E' espressamente vietato al personale ed ai visitatori che accedono a locali dove e' presente polvere di alluminio oppure ad essi adiacenti, di portare con sé: materiale da fumo, fiammiferi, accendini?			**Il personale rispetta il divieto di utilizzare materiale da fumo, fiammiferi, accendini e tale divieto e' imposto anche ai visitatori che accedono nei locali ove è presente polvere di alluminio?**			
E' esplicitato il divieto di introduzione nelle aree a rischio di potenziali sorgenti estranee di innesco quali macchine fotografiche ed altro di tipo non approvato?			**E' fatto rispettare il divieto di introduzione nelle aree a rischio di attrezzature non approvate?**			
Nelle aree in cui è possibile la presenza di polvere di alluminio è impedito l'uso di attrezzi attivati da gas?			**E' rispettato il divieto di utilizzare attrezzi attivati da gas nei locali in cui è possibile la presenza di polveri di alluminio?**			
Nel caso ne sia necessario l'utilizzo, esiste una procedura formalizzata per la disalimentazione di tutte le macchine e la pulizia preliminare?			**Il personale è a conoscenza del comportamento da tenere nel caso sia necessario l'utilizzo di attrezzi attivati da gas?**			

Verifiche sul documento aziendale di sicurezza	R1S	R1N	Verifiche in loco	R2S	R2N	Annotazioni
Gli utensili utilizzati per interventi di manutenzione o regolazione adoperati nelle zone a rischio di esplosione di polvere di alluminio sono riconosciuti antiscintilla?			**Sono messi a disposizione utensili riconosciuti antiscintilla per gli interventi di manutenzione o regolazione nelle zone a rischio di esplosione di polvere di alluminio? Ne e' garantito l'impiego esclusivo?**			
E' vietato utilizzare mole o flessibili quando il movimento d'aria vada a confluire dall'attrezzo verso il sistema di aspirazione delle polveri?			**Viene rispettato il divieto di utilizzare mole o flessibili quando il movimento d'aria va a confluire verso il sistema di aspirazione delle polveri?**			
E' previsto e formalizzato l'uso di attrezzature di pulizia che utilizzano solventi infiammabili?			**Viene rispettata la procedura prevista?**			
Viene previsto e formalizzato l'obbligo di mantenere le attrezzature di pulizia che utilizzano solventi infiammabili separate dalle operazioni che possono produrre scintille (in che modo)?			**Le operazioni che possono produrre scintille sono effettivamente mantenute separate dalle attrezzature di pulizia che utilizzano solventi infiammabili?**			
Sono definiti in modo univoco modelli e caratteristiche (antistatiche) di scope, spazzole e altre attrezzature?			**Per la pulizia dei locali sono utilizzate esclusivamente scope e spazzole del tipo previsto?**			
Viene previsto l'utilizzo di contenitori di raccolta della polvere in materiale riconosciuto antistatico?			**Per la raccolta della polvere sono utilizzati esclusivamente contenitori del tipo previsto?**			
E' esplicitamente vietato introdurre il materiale raccolto nelle fasi di pulizia all'interno dei collettori d'aspirazione?			**Il personale rispetta il divieto di introdurre il materiale raccolto nelle fasi di pulizia all'interno dei collettori d'aspirazione?**			
6.8 Impianto dell'aria compressa.			***6.8 Impianto dell'aria compressa***			
Esiste un progetto dell'impianto ed e' opportunamente considerata la possibilita' di perdite che potrebbero risollevare le polveri di alluminio? Esiste documentazione scritta che preveda gli attacchi per aria compressa e gas inerte non intercambiabili?			**L'impianto di aria compressa e' coerente con lo schema di progetto? Sono esclusi prolunghe ed ugelli non opportunamente posizionati? Gli attacchi per aria compressa e gas inerte sono stati predisposti in modo da non risultare intercambiabili?**			

Verifiche sul documento aziendale di sicurezza	R1S	R1N	Verifiche in loco	R2S	R2N	Annotazioni
CAPITOLO 7 PROCEDURE DI SICUREZZA			***CAPITOLO 7 PROCEDURE DI SICUREZZA***			
7-2 Indumenti da lavoro			***7-2 Indumenti da lavoro***			
Esiste una procedura che imponga la pulizia degli indumenti da indossare nelle zone in cui può essere presente polvere di alluminio?			**Gli indumenti esterni sono mantenuti puliti?**			
Viene previsto e formalizzato l'utilizzo di indumenti ritardanti alla fiamma, antistatici e facilmente rimuovibili?			**Il personale è stato dotato ed è a conoscenza della necessità di indossare indumenti ritardanti alla fiamma, antistatici e facilmente rimovibili?**			
E' stata considerata la necessità di evitare tessuti in lana, in seta e in materiale sintetico?			**Il personale è stato dotato di tessuti che non siano in lana, in seta o sintetici?**			
Esiste una valutazione scritta circa l'eventuale necessità di dotare i lavoratori di tessuti fitti, lisci, trattati con ritardanti di fiamma, che permettano la facile rimozione delle polveri con spazzolatura?			**Nel caso siano stati previsti indumenti di tessuto fitto, liscio, trattato con ritardanti di fiamma, questi vengono utilizzati dal personale?**			
E' stato valutato il taglio che gli abiti devono avere in modo da minimizzare l'accumulo di polveri?			**Il taglio degli abiti è tale da minimizzare l'accumulo di polveri (attenzione a tasche e risvolti)?**			
E' stata analizzata l'eventuale necessità di dotare i lavoratori di scarpe di sicurezza antistatiche?			**Il personale indossa le scarpe di sicurezza (nel caso ne sia stata evidenziata la necessità)?**			
E' stato formalizzato il divieto di indossare calzature con metallo a vista?			**Il personale è a conoscenza e rispetta il divieto di indossare calzature con metallo a vista?**			
Esistono procedure d'emergenza per la gestione degli abiti in fiamme?			**Il personale conosce la procedura da utilizzare per gestire gli abiti in fiamme?**			
Nel caso in cui si sia valutata la necessità di predisporre delle docce di emergenza, è stato previsto il loro posizionamento al di fuori delle aree dove si processa o manipola polvere secca di alluminio?			**Le docce d'emergenza sono collocate al di fuori delle aree dove si processa o manipola polvere secca di alluminio?**			
7.3 Procedure d'emergenza.			***7.3 Procedure d'emergenza.***			
Esistono procedure formalizzate d'emergenza per incendi od esplosioni per gli addetti al primo soccorso? E' stata fatta adeguata formazione informazione specifica? Sono disponibili attrezzature e presidi dedicati?			**Il personale adeguatamente formato è sempre presente in azienda in numero sufficiente? Esistono registri di presenza?**			

Verifiche sul documento aziendale di sicurezza	R1S	R1N	Verifiche in loco	R2S	R2N	Annotazioni
7.4 Ispezioni di sicurezza			*7.4 Ispezioni di sicurezza*			
Sono formalizzate (con registro) ed effettuate ispezioni complete dell'intero impianto ad intervalli regolari, non maggiori di tre mesi?						
La persona che effettua l'ispezione è qualificata (esiste documentazione di formazione specifica)?						
Durante l'ispezione vengono annotati i rilievi e le raccomandazioni (registro da conservare)?						
7.5 Ispezione e manutenzione			*7.5 Ispezione e manutenzione*			
Esiste della documentazione che provi l'effettuazione di regolari controlli e calibrazioni delle apparecchiature? (Occorre verificare regolarmente la portata di aspirazione delle bocchette, lo stato dei materiali di attrito, quali i nastri abrasivi, la efficacia delle protezioni meccaniche ed elettriche e dei vari dispositivi di emergenza e soccorso, ecc.)			**I nastri abrasivi, le protezioni meccaniche ed elettriche, i vari dispositivi di emergenza sono mantenuti in buono stato d'usura e di funzionamento?**			